

200942005A

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

地域の社会情報及び地理情報を加味した健康危機情報の分析と支援システムに  
関する調査研究

平成21年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 浅見 泰司

平成22(2010)年 3月

## 目 次

### I. 総括研究報告

地域の社会情報及び地理情報を加味した健康危機情報の分析と支援システムに関する調査研究

浅見泰司 . . . 1-1

### II. 分担研究報告

1. 感染症の流行推移を捉える空間分析手法の開発

浅見泰司 . . . 2-1

2. 食品災害の危機対応について

郡山一明 . . . 3-1

3. 空間ドキュメント管理システムのユーザビリティ向上と実用化に関する研究

有川正俊 . . . 4-1

III. 研究成果の刊行に関する一覧表 . . . 5-1

IV. 研究成果の刊行物・別刷 . . . 6-1

地域の社会情報及び地理情報を加味した健康危機情報の分析と  
支援システムに関する調査研究

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

### 研究要旨

地理空間情報処理を誰でもが簡単に行うためのソフトウェアツールとして、空間ドキュメント管理システム(SDMS)の実用化に向けて、機能の充実と安定化、およびウェブによる一般公開を行った。RSSの枠組みを用いた、ウェブ上の健康危機ニュース情報を自動収集・自動通知・自動マッピングする機能の実現と実証実験を行い、国立保健医療科学院の健康危機管理支援ライブラリーシステム(H-CRISIS)の「健康危機情報に関するマスコミ発表のサービス」のウェブページを対象に有効性のテストを行った。また、インフルエンザの時空間流行モデルを構築し、地域間に生じる影響度について推計した。メタミドホス混入餃子事例を、災害発生状況、情報収集段階に着目して時空間的に検討を加えた。

### 研究分担者

郡山一明 救急救命九州研修所教授  
有川正俊 東京大学准教授

## A. 研究目的

### 1) 支援システム

情報伝達技術の発達による社会環境の変化に伴い、健康危機に対して地域保健が対処しなければならない課題が多様化及び複雑化しつつある。しかし、現在の地域保健行政において、現状把握、問題抽出、原因分析等は、社会に存在する情報の一部の情報である保健・医療・福祉に関する統計調査等を画一的な側面から分析しているため、正確な現状把握及び本質的原因の解明を行うことは困難である。この状況を打開し、迅速かつ効率的に現状把握等を実施するためには、地域空間情報を的確に把握し、瞬時に事態を把握することを要するとともに、その原因に関する推論を下しうるソフトウェアの開発が厚生労働行政上、急務である。

申請者らの研究チームでは、上の目的に合う空間ドキュメント管理システム(SDMS)を開発し、その試行版を国立医療科学院の健

康危機管理支援ライブラリーシステムにおいて公開して、保健所などにおいて利用可能な状況にした。しかし、このシステムには以下の課題がある。第一に、現在のSDMSでは地図の操作性が低い。第二に、点的イベントを表示することができるが、線や面など高次元のイベントには十分に対応できない。第三に、集中している地点を簡易に表示するという、健康危機管理において必須と思われる機能を装備していない。これらの問題を解決すべく、現在のSDMSを改良し、日常的にも、健康危機発生時の非常時にも利用できる汎用的なシステムを開発する。

### 2-1) 健康危機情報分析（早期把握分析）

食品は人々の口に入るまでに、前食品段階、加工段階、流通段階、提供段階、消費段階5段階を経ている。それ故、「食品に有害物質が混入する」段階も、この5段階のいずれかにある。つまり食品災害の発生を空間的・時間的集積性から眺めれば、原因物質の把握が迅速になるはずである。

食品災害発生後のどの段階で、どのような調査を行えば効率的かを事前に明確にしておく必要がある。そこで、実際に起きた食品事

例をふりかえって検討することとした。

## 2-2) 健康危機情報分析 (流行傾向分析)

地域における健康危機管理において、感染症の流行状況を空間的に把握することは、広範囲にわたる被害を抑止するための対策上重要である。本研究では、例年国内各地で発生するインフルエンザを対象として、その空間的な流行推移を対象とした分析をおこなう。

インフルエンザの流行を扱った研究については、Cliff et al. (1986) による空間的な側面に着目した流行分析から、Viboud et al. (2003) の気象学的手法を用いた流行予測に至るまで、その分析アプローチは多岐にわたる。日本を対象としたものとして、中谷 (1994) では空間的相互作用を考慮した理論疫学モデルによる分析がなされ、鈴木ほか (2003) では、GIS (地理情報システム) を用いた患者情報や小中学校の休校情報の解析が行われた。

本研究では、小学校の児童欠席状況データを用いて、インフルエンザの流行推移から空間的特徴を発見するための分析手法の開発をおこなうことにより、地域の危機的状況の早期発見や対応支援に資することを目的としている。

## B. 研究方法

### 1) 支援システム

平成21年度は、RSSへの対応による自動通知・自動更新機能について実装化研究開発を行った。RSSは、ウェブドキュメントのメタ情報記述あるいは見出し情報記述として普及している。たとえば、国立保健医療科学院のブログのページに、全国の保健所から書き込みがあり、その書き込みの中に住所や地名などの位置情報の記述がある場合には、自動的に、SDMSの中の地図にその場所を表示するという枠組みを実現できる。これ以外にも、関係する他のウェブページで、「災害」や「流行性」などのキーワードが含まれている記事をRSS検索して見つけた場合、自動的に、その記事をダウンロードし、位置情報を持つ場合は、自動的に地図上に表示させることができ、人手を介すことなく、ウェブ上の情報を地図へマッピングすることも可能となる。こ

のように、本年度は、主に、SDMSのRSS拡張ならびに、自動通知と自動更新の機能の高度化、とシステムの全体の完成度の向上に関する研究・開発を行った。

また、ウェブ上の健康危機ニュース情報の自動収集・自動マッピング機能の検討と実装を行った。つまり、SDMSを使って、いろいろな機関から発表されている非定型なニュース情報をインターネットから収集し、ニュース情報の位置を地図として表示する手法を検討し、プロトタイプシステムを開発し、その有効性の検証実験を行った。具体的には、ウォッチするウェブページのURLと自動的に取得する時間と繰り返し周期を設定し、そのウェブページに更新があったかどうかを自動的に確認するとともに、新しいニュースの部分を自動的に抽出し、地図上にPOIとして表示するITサービスの方法の検討・実装・実証実験を行った。特に、国立保健医療科学院の「健康危機管理支援ライブラリーシステム (H-CRISIS)」の「健康危機情報に関するマスコミ発表資料のサービス」を対象にこの枠組みの有効性に関して実証実験を行った。

### 2-1) 健康危機情報分析 (早期把握分析)

まず、代表的な食中毒起因病原物質とその臨床症状を一般的な医学書で調べた。

次に、実際に起きた事例として、メタミドホスが混入した餃子事件を取り上げた。国の委員会で提出され、ホームページで公開されているデータを元に、発生日時、場所と分析日時を調べた。

次に、各県に寄せられた問い合わせ数を、実際に受診した数と受診以外の問い合わせに分けて、その相関を調べた。さらに問い合わせと受診の総数を人口10万人単位に換算し、実際の発生場所との相関を検討した。

### 2-2) 健康危機情報分析 (流行傾向分析)

本研究では、インフルエンザ流行を分析するにあたり、これまでに宮城県仙台市および福岡県北九州市を対象地域とし、市内全小学校の毎週、もしくは週2回分の児童欠席数データを用いた。小学校の欠席数が空間分析データとして妥当である理由としては、まず小



学校の在校生数という欠席者数に対する母集団が明確であることがあげられる。つまり、他の小学校の流行状況を考慮した分析が可能であることがあげられる。さらに、流行の早期発見を念頭においた際に、迅速に収集できる可能性が高いことなども有利な点である。そこで本研究においては、小学校欠席状況が各地域の流行状況を表しているものとして、インフルエンザの流行に関する空間分析をおこなった。

インフルエンザの流行が、免疫を持たず感染可能な人と、感染している人との接触により拡大することをふまえ、流行の時空間モデルを構築する。ここでは、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、地域が単一のものとして存在し、他の地域の影響を全く受けない、つまり外から閉ざされた状況では、時刻  $t$  における感受性者数  $S(t)$ 、感染者数  $I(t)$ 、隔離人口  $R(t)$  の時間的推移は、古典的な SIR モデルによると、感受性者と感染者の接触の程度を示す感染率  $\beta$ 、および隔離率  $\gamma$  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)。

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta \cdot S(t) \cdot I(t), \quad (1)$$

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

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

さらに、(1)~(3)式を離散化することにより、次のような差分方程式に書き換える。

$$S(t+1) = S(t) - \beta \cdot S(t) \cdot I(t), \quad (4)$$

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

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

ちなみに、 $S(t)$ 、 $I(t)$ 、 $R(t)$  の時間的推移は、以下の図のようになる。

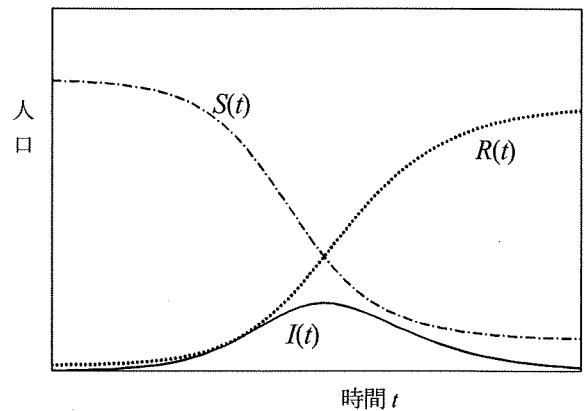


図1 SIR モデル

上記の SIR モデルは単一の地域内の流行現象を記述するものであるが、現実には地域は他の地域と隣接していたり、または交通機関などで連結されていたりしており、それぞれ流行に影響を及ぼし合っている。特に、小学校区という小さい地域単位で流行を考えるにあたり、周辺の他地域の影響は決して無視できないとともに、元来、感染症が人と人の間の接触によって起こることを考えれば、流行において他地域の考慮は必然である。

そこで本研究では、流行の過程を把握するために、各地域間の影響に着目した、インフルエンザの流行モデルを検討した。ここでは、他地域から受ける影響を考えるにあたって、各小学校区を地域単位とした隣接グラフを作成した (図2)。

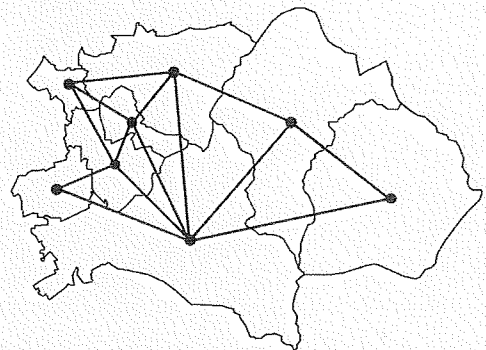


図2 各地域と隣接グラフ

以上をふまえ、(4)~(6)式からさらに、地域  $i$  の流行推移に対して影響を及ぼす、地域  $j$  の感染者数の存在を考慮した、時空間的流行モデルを本分析において構築した。

ここで本来の感染率  $\beta$  は、感受性人口と感染人口の密度の積に比例するとされるが、ここでは他地域との空間関係にもとづいた流行に対する影響を加味したものとなり、本分析では「接触パラメータ」と呼ぶものとする。また、隔離率については、前述したものと同様に「隔離パラメータ」として扱う。

すると、地域内の接触パラメータを  $\beta$ 、地域  $i$  と地域  $j$  との間の接触パラメータを  $\beta_{ij}$ 、そして隔離パラメータを  $\gamma$  とすると、地域  $i$  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、以下の(7)~(9)式のように表される。これにより、インフルエンザ流行拡大における、地域間の影響の差異を流行モデルにおいて明示することが可能となる。

$$\begin{cases} S_i(t+1) - S_i(t) = -\beta \cdot S_i(t) \cdot I_i(t) \\ \quad - \sum_{j \neq i} \beta_{ij} \cdot S_i(t) \cdot I_j(t), \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} I_i(t+1) - I_i(t) = \beta \cdot S_i(t) \cdot I_i(t) \\ \quad + \sum_{j \neq i} \beta_{ij} \cdot S_i(t) \cdot I_j(t) - \gamma \cdot I_i(t), \end{cases} \quad (8)$$

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

上記の(7)~(9)式において、小学校欠席数データから、まず  $I_i(t)$  および  $I_i(t+1)$  が既知である。さらに  $S_i(t)$  の値が与えられれば、 $S_i(t+1)$  が求められることになるが、初期の感受性人口である  $S_i(0)$  がデータからは不明である。

そこで、初期の感受性人口については、市全体にわたってまだ本格的な流行の開始前と考えられるため、各小学校の全校生徒数に一定の割合を乗じたものを、各地域の初期段階の感受性人口とした。なお、以下の結果は、全校生徒数に 0.7 を乗じたものを用いて計算したものを示す。

以上をふまえ、それぞれの小学校の各時点での欠席数を用いて、地域内の接触パラメータ  $\beta$ 、隔離パラメータ  $\gamma$ 、そして地域間の接触パラメータ  $\beta_{ij}$  について、非線形最小二乗問題として推計した。

さらに、計算の結果、得られた各地域間の接触パラメータを、流行期間を通じた地域間の影響の強度と見なし、その空間分布を地図

上において検討した。

## C. 研究結果

### 1) 支援システム

SDMS のユーザビリティ向上のために主に以下の2点に関して、機能変更と充実を行った。

#### (1) プロジェクト管理機能

プロジェクト管理機能を SDMS に追加したことにより、ユーザは目的ごとにプロジェクトを使い分けることによって、ドキュメント集合と POI 集合を混乱することなく利用できる分かりやすい環境を実現した。特に、POI ごとの操作性向上のための機能追加・変更を行った。

#### (2) 空間アノテーション機能

空間アノテーション機能に関しては、その記述方法および利用形態に関して、ユーザビリティの観点から再度の検討を行い、シンプルでかつ効果的な枠組みを提案し、プロトタイプの実装を行い、われわれの提案の実現性・実用性を検討した。同時に、空間アノテーション機能に対応する濃淡図作成機能を実装し、分布とその影響を視覚的に表現するための機能を充実させた(図3)。また、空間密度分布の簡易的可視化機能としてのカーネル法濃淡図(図4(a))は、位置における多重度の値を正確に面として表現するのに適しているが、計算コストがかかるために表示には時間がかかる。一方、単純濃淡図(図4(b))はそれぞれの点からの減衰率だけで面を構成するために瞬時に表示させることが可能であるが、サンプル点の間の値が不適切になる場合もある。これらの可視化機能は、空間アノテーション機能とも連携しており、ユーザ定義の属性値の可視化機能は実現されている。

ウェブ上の健康危機ニュース情報の自動収集・自動マッピング機能の実現方法を検討し、実際にウェブからニュース情報を自動収集する機能の充実を図り、実証実験を行った。国立保健医療科学院の「健康危機管理支援ライブラリーシステム(H-CRISIS)」の「健康危



機情報に関するマスコミ発表資料のサービス」のウェブページに集中して集まってくる健康危機ニュース群の地図化の自動化を試みた(図5、6、7、8)。このウェブページ自体はニュースのソースであるウェブページをURLを使って指しているのもう1段階以上深く、つまり木構造を辿り、より深い段階での情報収集を行う必要がある。その辿ったURLが指している(各地方組織が発信している)デジタルドキュメントは、その種類も形式も非定型で一般には自動処理が困難であり、SDMSがこの点からも大変有効であることが分かった。ただ、正確な情報の共有をしたい場合は、簡易な定型ドキュメントで配信する方が効率は良い。今後はこれらのニュース情報の公開はRSSなどを用いて行い、ある程度の定型化を進めることにより、自動収集するニュース情報の品質が上がると考えられる。

RSSへの対応による自動通知・自動更新機能について実装化研究開発を行った。RSSは、ウェブドキュメントのメタ情報記述あるいは見出し情報記述として普及している。昨年度までに開発した、ニュース収集システムに、RSSリーダーの機能を加えて、RSSで情報発信しているサイトから、情報を定期的に収集し、また、事前に設定していったキーワードや空間領域の地理参照情報を含む場合に、ユーザに知らせる機能を実現することができた。また、参照先のウェブページから参照されている別のページを参照するなど、ウェブページの自動収集を再帰的に繰り返す機能も実現した。

ウェブを通した、最新版のSDMS 3.5β版の実験的一般配布を始めた(<http://sdms.csis.u-tokyo.ac.jp/>) (図9)。一般配布を通して、ユーザからの要望を聞き、より安定した、より便利なツールへと改善していくことも目的としている。以前は、健康危機管理支援ライブラリーシステム(H-CRISIS)だけで実験的に公開していたが、一般から利用したいという要望があり、またツールとして安定性が増したので、東京大学空間情報科学研究センターからも公開することにした。ただし、利用者が自由にダウンロ

ードできるという形式の公開ではなく、利用許可を得てから、一時的なURLとパスワードを通知し、ダウンロードしてもらう形式を取っている。



図3 空間アノテーション機能のイメージ

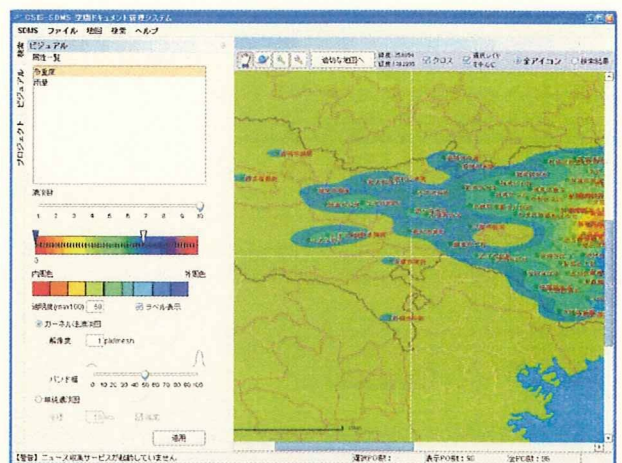


図4(a) カーネル(密度推定)法濃淡図の例

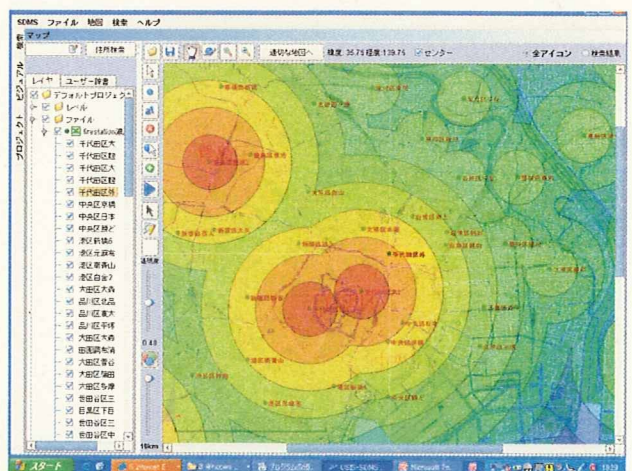


図4(b) 空間アノテーションに基づき生成された単純濃淡地図の例



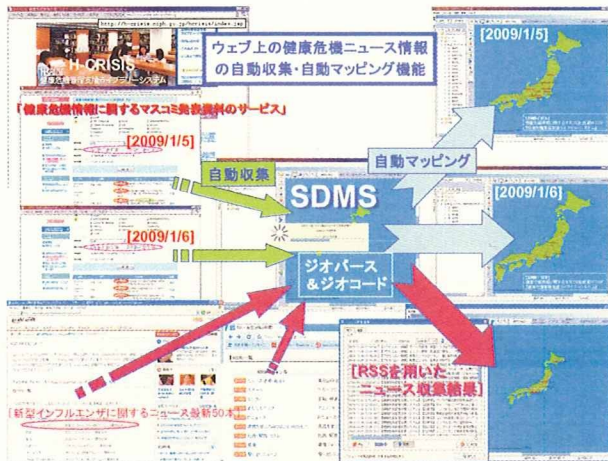


図5 健康危機ニュース群の地図化の自動化のイメージ。RSSにも対応している。

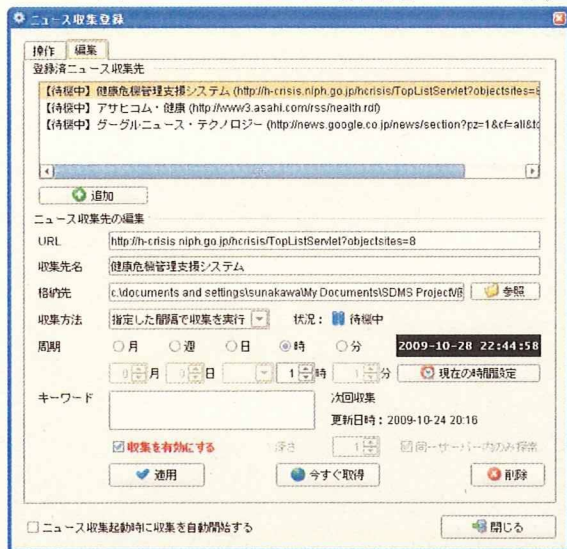


図6 ニュース収集登録の設定画面



図7 ニュース収集結果の画面

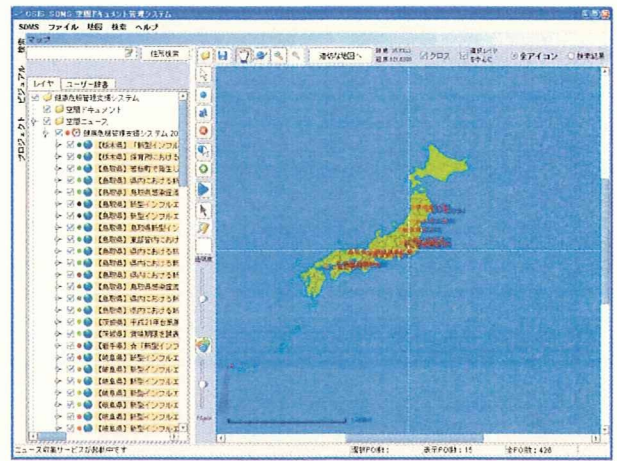


図8 ニュース収集結果の地図上での表示

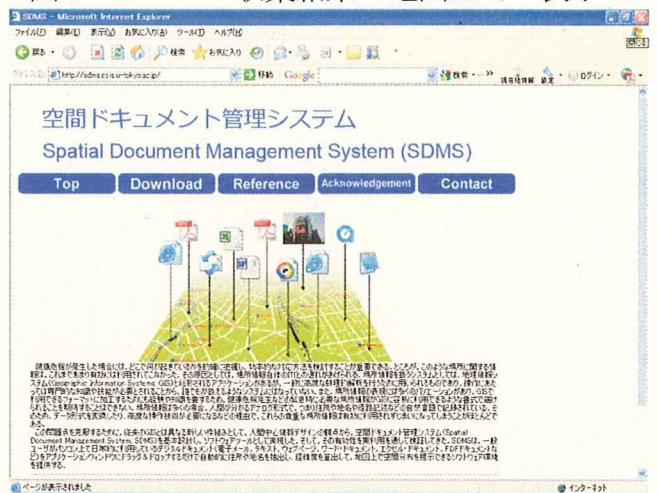


図9 SDMSの一般公開ページ

## 2-1) 健康危機情報分析 (早期把握分析)

代表的な食中毒起因病原物質と、その臨床症状を表1に示す。殆どが「嘔吐、下痢」であり、特徴的な症状を来たすのはボツリヌス菌の視力・嚥下障害くらいである。

表1 代表的な食中毒起因物質とその臨床症状

病原体	主な症状
腸炎びブリオ	嘔吐、腹痛、下痢
黄色ブドウ球菌	嘔吐、腹痛、下痢
サルモネラ菌	腹痛、下痢(血便)、発熱
腸管出血性大腸炎	腹痛、下痢(血便)
ボツリヌス菌	嘔吐、視力・嚥下障害等
セレウス菌	嘔吐、腹痛、下痢
ウエルシュ菌	腹痛、下痢
カンピロバクター菌	腹痛、下痢(悪臭)、発熱
エルシニア菌	腹痛、下痢、発熱、発疹
小型球形ウイルス	嘔吐、腹痛、下痢、発熱



メタミドホスによる中毒事例は4件であり、千葉県と兵庫県の2つの市と兵庫県であった。発生日時は1ヶ月以上の間隔があった(表2)。

表2 メタミドホス入りの中国産餃子事件発生の時間経過

異常事態の把握日時	場所	事態把握のきっかけ	分析結果が出た日時
2007.12.28	千葉県千葉市	患者発生	2008.2.8
2008.1.5	兵庫県高砂市	患者発生	2008.1.29
2008.1.22	千葉県市川市	患者発生	2008.1.29
2008.1.30	厚生労働省発表		

メタミドホス入り餃子による被害が厚生労働省から発表された後の1ヶ月間に、医療機関を受診または相談窓口にお問い合わせをした人の数は全国で5,000名を超えた。このうち医学的にメタミドホスとの関連が疑われたのは、千葉県と兵庫県の10名であった。実際に医療機関を受診した人数は909名であったのに対して、受診のない医療相談や問い合わせをした人数は4,359名であった。

図10に各県の受診者数と受診以外の問い合わせ(受診を伴わない医療相談、問い合わせ等)の散布図と相関を示す。

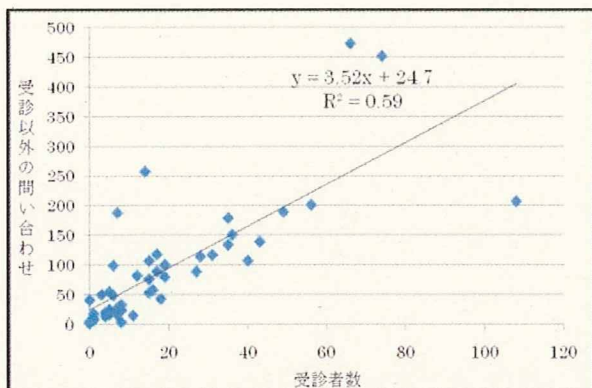


図10 各県の受診者数と受診以外の問い合わせの相関

図11に県別の受診・問い合わせ件数(人口10万人当りに換算)を示す。赤は報道発表前にメタミドホスによる患者が確認された千葉県と兵庫県である。図を見れば明らかなよ

うに、結果的に被害がなかった県でも、事態発生県以上の受診・問い合わせが起きていた。そして、受診・問い合わせ件数は事態が発生した県からの空間的距離には依存していなかった。

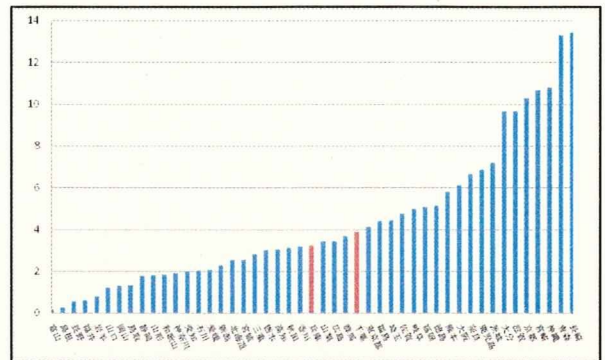


図11 メタミドホスに関する県別受診・問い合わせ件数(対人口10万人)

## 2-2) 健康危機情報分析(流行傾向分析)

宮城県仙台市の2008年1月から3月までの小学校欠席状況を対象として、分析をおこなった。市内の公立小学校数は、分校1校を含む124校となっている。

調査日は原則として、火曜日と金曜日の週2回実施されており、各調査日の各小学校の欠席数、および各小学校の全校生徒数を分析に用いた。ただし、学級閉鎖中の欠席数については、閉鎖直前の欠席数を当日の欠席数に加算している。図12に、各調査日の欠席数の推移を示す。

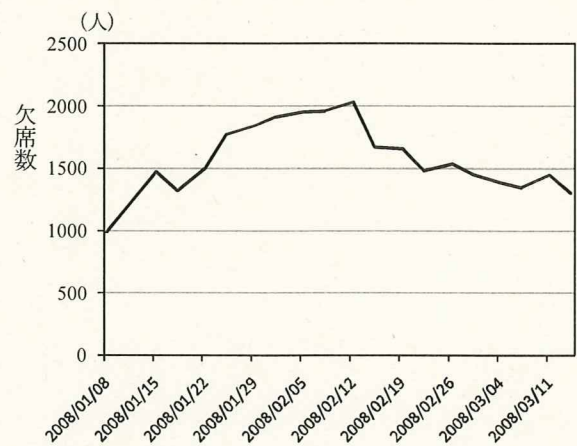


図12 仙台市全小学校の欠席数推移



欠席数データを用いた、最小自乗法によるパラメータ推定の計算においては、MATLAB Optimization Toolbox を使用し、地域内の接触パラメータ、地域間の接触パラメータ、そして隔離パラメータの推定をおこなった。実際の計算において、接触パラメータの推定値が負の値となった際には、その地域間は流行を拡大させる方に作用しないと考えられることから、その場合パラメータは0として再計算をおこない、最終的に推定する全パラメータが0以上の値で収束するまで、最小自乗計算を繰り返し行った。

結果として、全地域で共通の値となる、地域内の接触パラメータ  $\beta$ 、および隔離パラメータ  $\gamma$  の推定値は、それぞれ  $\beta=2.41 \times 10^{-14}$ 、 $\gamma=4.31 \times 10^{-1}$  となった。さらに、データからは未知となっている初期段階の感受性人口が、全校生徒数にそれぞれ0.6、0.8を乗じたものを用いた場合についても検討した。この地域外の影響を表す各地域間の接触パラメータの推定値について、設定したそれぞれの感受性人口についての頻度分布を図13に示す。図13を見ることで、地域間の流行影響度を表す接触パラメータの値の分布が、異なる感受性人口の間で比較的類似していることが理解できる。

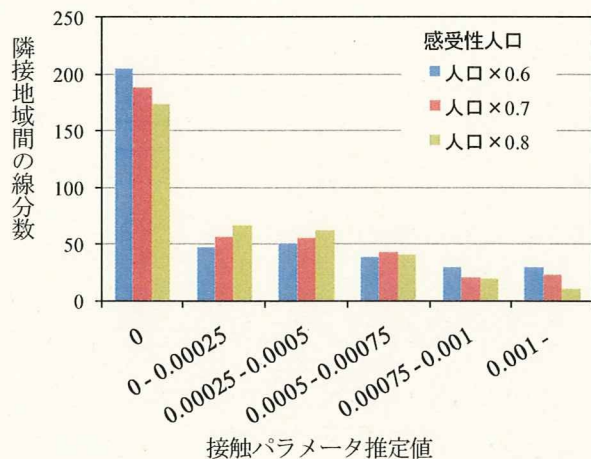


図13 異なる感受性人口における地域間影響度

図14は、地域間の接触パラメータの推定値が特に大きい  $7.5 \times 10^{-4}$  以上の地域間について、地域を線分をつないだものを地図上で表した、

地域間の影響度の空間分布である。

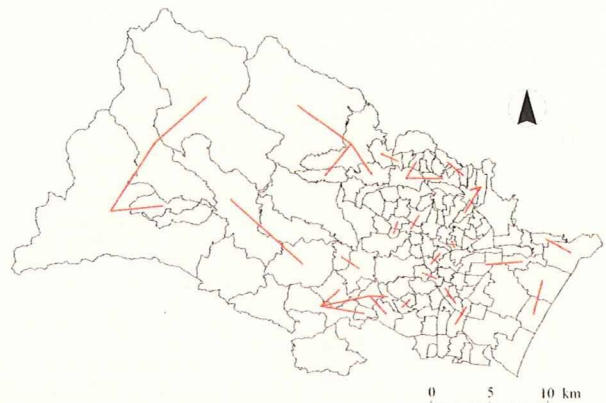


図14 地域間影響度の空間分布

図14をみると、隣接する近距離にある地域のなかでも、流行の影響に差異が生じている一方で、周囲の多くの地域に多大な影響を及ぼす地域が、少ないながら存在していることが確認できる。また、市の周辺部の西方の地域において、影響度が特に大きいものがあるが、この理由の一つとして、計算において市外の地域の存在を無視しているために、隣接している限られた地域の影響が必然的に強くなる結果を導いていると考えられる。ところが、市の東方の海側の地域は、元々他地域との接触が少ないにも関わらず、同様の傾向が見られないことを考慮すると、西方の地域において地域人口(生徒数)が少ないために、感染人口の変動の誤差が大きくなり、突発的な欠席数の上昇により、非常に流行が進んでいる状況を生じやすいことも大きな要因であると考えられる。

さらに、本研究では単に地域どうしが隣り合っている隣接地域間の影響に加えて、1) 鉄道路線を考慮した地域との間の影響度、および2) 地域間のそれぞれで異なる接触パラメータを設定した場合の流行方向性、のそれぞれについて分析をおこなった。

図15は、鉄道路線でアクセス可能な地域を含めた地域間の接触パラメータの推定値が特に大きい  $7.5 \times 10^{-4}$  以上の地域間について、地域を線分をつないだものを地図上で表した、地域間の影響度の空間分布となる。概ね南北



および東西に帯状につながる地域が、鉄道駅が地域内に存在することを表している。ただし、全校生徒数が100人以下の地域については表示していない。

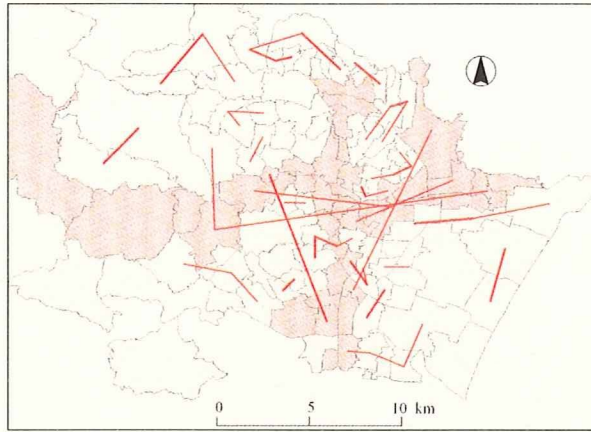


図 15 鉄道によるアクセスを考慮した地域間影響度

さらに、隣接地域間で異なる接触パラメータを設定することで、2 地域間のそれぞれで異なる方向性を地図上で表現したところ、複数の流行の空間的連続性が認められた (図 16)。

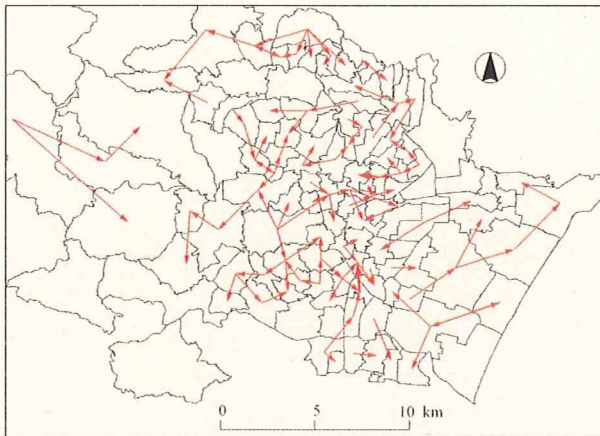


図 16 隣接地域間における流行方向性

## D. 考察

### 1) 支援システム

#### (1) 実用化と普及

本研究の視点は、空間ドキュメント管理システム (SDMS) という新しい枠組みの理論的な体系化だけではなく、実際に保健所などの現場において、感染症 (早

期対応) などに有効な実用システムに仕上げ、簡単に、適切に利用できるソフトウェアツール環境を実現することにある。実験システムの場合、ある特定の機能が使えば良いのであるが、実用システムの場合、さまざまなユーザのすべての使われ方を想定して、それらに対してユーザが不満を持たないようなバランスのとれた環境を作り上げる必要がある。そのためにも、SDMS を一般公開し、多くのユーザに使っていただき、ユーザからのフィードバックをもらい、より良いものへと改善する予定である。

#### (2) ウェブからの自動収集とその意義

SDMS の1つの機能として開発したニュース情報収集機能は、地理的な空間分布の情報をウェブ上から自動的に収集し、地図上に描画も可能なシステムであり、この利用方法の有用性は大変高いと考えられる。一方、このウェブの自動情報収集機能の妥当性について吟味が必要である。つまり、収集した情報と健康危機情報との関連性について考察をして実用的なシステムであるかどうかの検討が必要であり、今後、実利用を通して、その意義を確認していく予定である。われわれの基本的考え方は、自動情報収集機能の妥当性に関しては、もとなるデータの信頼性の問題であり、これらに関しては、われわれが開発しているソフトウェア SDMS では解決できない問題である。しかし、現在の社会システムの一般的発展方向としては、透明性の確保、情報公開へ進むのは明白であり、今後はウェブに出される情報の信頼性はますます上がると考えられる。また、種類も多様性も増すと考えられるので、ウェブの自動情報収集機能の妥当性・重要性が今後ますます明らかになると予想している。

#### (3) RSS の枠組みを用いた、ウェブ上の健康危機ニュース情報を自動収集・自動通知・自動マッピングの機能の実現と実証実験

ウェブの世界では、リアルタイムの情

報を通知したり、大量の情報から必要な情報を自動的に選択して、通知する枠組みとして、RSS が一般化しつつある。健康危機情報の分野においても、同様に、RSS をベースとなる、情報公開や情報収集の枠組みが一般的になるのは時間的問題であり、これを仮定して、RSS による健康危機ニュース情報を地図上にマッピングする枠組みを作成し、その有効性と問題点などを整理し、来るべきリアルタイム健康危機情報管理の枠組みの体系化を試みた。また、実装と実証実験を通して、健康危機ニュースの自動収集機能の有効性を確認することができた。

## 2-1) 健康危機情報分析 (早期把握分析)

● 患者症状から食中毒のアウトブレイクを疑えるか？

表1が示すように、食中毒起因物質が異なっても、臨床症状は殆ど同様である。つまり、臨床症状を詳細に検討することで原因物質を先に見出し、それをもってアウトブレイクを宣言することは、特徴的な症状を呈する場合を除いて不可能と考えるべきである。

● 分析結果を待つべきか？

待つべきでない。今回の事例でも事態把握から分析結果がでるまで、1ヶ月もしくは2ヶ月を要している。

● 発生の時空間把握の必要性

メタミドホス入り中国産餃子事件の最初の3件の把握場所は千葉、兵庫と分散しており、異常事態の把握日時も第1件から3件までに1ヶ月を要していた。事件発生経過の空間的・時間的解析からは、メタミドホス混入の場が国内流通段階以前にある可能性が示唆される。

● 情報収集のあり方

食品災害の場合、第一段階であるリスク認知(予兆の把握)は「苦情」「患者の発生」等の曖昧な事象によって次第に気付かれてくる。起因物質が1種類であれば「クレーム内容(患者症状)が同じ」なのであり、その混入場所は苦情内容が寄せられた「食品の同一性」「場所の集積性」の情報を集めて処理することで可能となる。

しかしながら、膨大な食品が流通している現状において、毎日寄せられる数多くのクレームの中から「食品の同一性」「場所の集積性」を手作業で見出すのは非常に困難である。この段階を効率よく、かつ正確性をもって行うには、寄せられるクレームを情報化してコンピュータによって管理・解析することが有効であろう。この際、クレーム内容の入力は予め数種類(あまり細かくせずに大きくまとめる)に分類しておくほうが良いだろう。同じクレームであっても、その表現は個人によって異なるからである。具体的には、異臭、味の異常(苦い、すっぱい)、体調異常(腹痛、下痢、嘔吐、通院)程度ではないだろうか。

● 情報収集の時期

図10、11の結果を見る限り、食品災害の原因究明を目的とする場合、一般人からの問い合わせに頼ることは効率的ではない。

認知心理学によれば、一般の人々のリスク認知は「恐ろしさ因子」と「未知性因子」から構成される感情システムでなされるという。食品災害は、その原因は肉眼的に視覚化できず、「恐ろしさ因子」と「未知性因子」に直接働きかけて不安を引き起こすと考えられる。

一般人が不安にかられる前段階、つまり「予兆を把握した」段階において、医療機関等の専門機関から情報を得ることが必要である。

## 2-2) 健康危機情報分析 (流行傾向分析)

流行拡大における地域間に生じる影響度をみると、図13のように接触パラメータの推定が比較的広い範囲に値に分布しており、少ないが特に大きい影響があるとされる地域のペアが存在することが確認された。さらに、これらの影響の大きいものについて、図14の仙台市の地図上で、その空間分布を重ね合わせたところ、概して隣接する地域のなかでも影響に差異が生じていることが示された。さらに、仙台駅が位置する中心部付近では、地域間の影響が大きいものが多く、中心部への方向において接触の可能性が高いことで、流行拡大が起こりやすいことを示唆している。

本研究では、これまで流行に影響する地域として、データが存在する範囲内でのみ分析対象としてきた。しかし、通常は周囲が海で



囲まれているなどでなければ、周囲に対象外となる地域が存在している。もちろん市や県の行政区で考えたときに、周縁に位置する地域は、山や川などの自然条件により、必ずしも範囲外となる地域と強く影響し合わないと考えられることもあるが、分析対象地域外についても考慮することは、より一般化されたモデルを構築する上でも必要であると言える。

また、ここでは隣接関係にある地域間でのみ分析対象としているが、影響を及ぼす地域とは、必ずしも隣り合っている地域に限らず、現実には鉄道などの交通機関でアクセスがよい地域も含まれる。これらの地域状況について、隣接関係に柔軟かつ適切に取り込むことにより、本研究でのモデルで、より多くの地域を対象とすることが可能である。

さらに、地域間での流行に関わる影響は、相互の接触により生じるものとして、本研究の場合のように2地域間で影響度を同一とみなす一方で、地域間での影響の偏りを流行における方向性としても捉えることができる。そのために、より大規模な計算が必要となるものの、双方向の影響度をそれぞれ異なるパラメータとして推定する方法も有り得る。

なお、地域の感受性人口については、初期人口を全校生徒数の7割とした場合のみならず、6割および8割とした場合についても、同様に地域間の接触パラメータ計算をおこなったところ、推定値の頻度分布および空間分布について、ほぼ同様の結果を得ており、本研究において感受性人口を所与としたことについては妥当であったとの結論を導いた。同じく、感受性人口が異なる状況で、他のパラメータの推定値について比較したところ、感受性人口が多い状況であるほど、地域内での接触パラメータの推定値が小さい値を得る傾向が得られた。このことから、新型インフルエンザのような多くの人が免疫を持たない状況下では、地域外の影響がより大きくなると解釈することができ、他地域の状況を十分に監視する正当性を与えるものと理解される。また、隔離パラメータについては、感受性者数によらず、0.5付近で安定した推定値を得た。鉄道で移動可能な地域について考慮した場合

では、一定の影響の存在が認められるものの、特に影響の強いものについては隣接地域間と比較して多くなく、流行拡大においては距離的な要因が非常に強いことを示唆している。

小学校欠席状況データの地域健康危機管理への活用例として、本研究において2007年度より、小学校欠席率の分布図をクリギングによる空間補間で作成し、インフルエンザ流行地図として仙台市への提供をおこなっている。

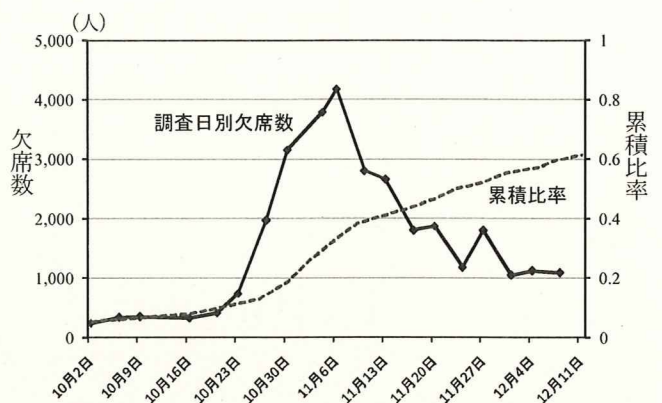


図 17 新型インフルエンザによる欠席数推移 (2009年仙台市)

特に今年度は、新型インフルエンザ対策として、例年よりも早い夏休み明けの9月より、欠席調査を開始しており、新型インフルエンザの流行時期における推移の様相を、図17のように捕捉することに成功している。これは、有効なサーベイランスのモデルとして、全国の都市にも応用可能な貴重な資料と位置付けられよう。

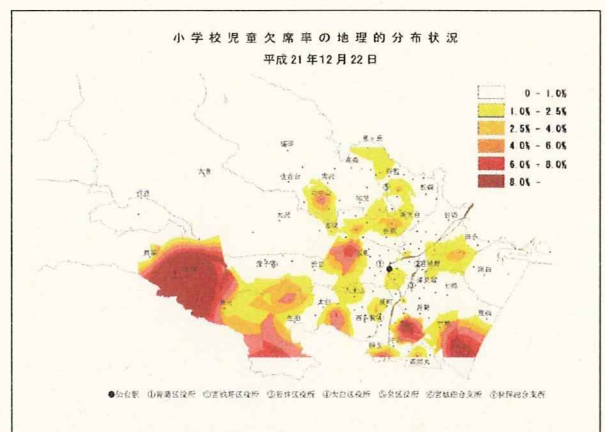


図 18 仙台市HPの欠席率状況図(2009年)

図 18 は、平成 21 年 12 月 22 日時点の欠席状況地図である。

インフルエンザなどの流行の傾向を、小学校の欠席状況からより迅速かつ適切に把握するには、可能な限り毎日に近いデータが収集できることが理想的である。仙台市の場合では、週あたり 2 回のデータを用いた分析が可能となるため、昨年度と比較しても、より詳細な拡大傾向が捉えられると考えられる。

## E. 結論

### 1) 支援システム

本年度は、最終年度であり、SDMS の完成度を上げ、実利用に耐えうるものに仕上げた。また、新たに検討・実装する機能として、RSS の枠組みを用いたウェブ上の健康危機ニュース情報を自動収集・自動通知・自動マッピングの機能の実現と実証実験を行った。ウェブの世界では、リアルタイムの情報を通知したり、大量の情報から必要な情報を自動的に選択する枠組みとして RSS が一般化しつつある。健康危機情報の分野においても同様に RSS をベースとなる情報公開や情報収集の枠組みが近い将来一般的になるのは確実であり、これを仮定して、RSS による健康危機ニュース情報を地図上にマッピングする枠組みを試作し、その有効性と問題点などを整理し、来るべきリアルタイム健康危機ニュース情報管理の枠組みの体系化を試みた。今後は、SDMS の普及を考えて、SDMS 自身の操作方法および空間情報処理の基礎的教育として、SDMS を使った e-learning の教材を整備し、保健医療分野における空間情報システムの利活用の普及をめざす。

#### 2-1) 健康危機情報分析（早期把握分析）

1. 食品災害対応に、事態発生の時空間把握は非常に有益である
2. 情報収集は、一般人が不安にかられる以前に医療機関から得ることが効率的である。

#### 2-2) 健康危機情報分析（流行傾向分析）

地域健康危機管理において、地域の流行を詳細な地域レベルで把握することは重要であり、感染症流行の空間分析は、流行過程における潜在的な特徴を把握することを可能とし、

健康被害の拡大抑止のための将来的予測を考える上で有効な手段となる。

本研究では、小学校区という地域単位で流行の空間的傾向を把握するにあたり、他地域の流行状況を考慮した、インフルエンザの時空間流行モデルを構築し、従来理解することが困難であった地域間の影響度について、仙台市内小学校の欠席数データから推定することが可能となった。その結果、特に流行に強い影響がある地域ペアを検出できた。

小学校の欠席状況調査によって得られるデータ、および流行モデルによる空間分析は、インフルエンザ流行の空間的な拡大傾向を明確にするとともに、他の突発的な危機的現象に対しても、被害の拡大抑止に寄与することができる。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

Yasushi Asami (2009) “Characterization of Ratio-Type Indices for Evaluating Residential Environment” Yasushi Asami, Yukio Sadahiro, Toru Ishikawa (eds.) New Frontiers in Urban Analysis: In Honor of Atsuyuki Okabe, CRC Press, Boca Raton, pp.5-13.

Hideki Kaji, Masatoshi Arikawa, 2009. pLog: User Generated Media for Personal LBS. Journal of KSISS(Korea Spatial Information System Society), 11(2), 57-64.

浅見泰司 (2009) 「不動産情報の標準化」『都市住宅学』 66, 4-6.

郡山一明, 中谷内一也 (2010) 「食品災害の危機管理：リスクの着目点と具体策」

### 2. 学会発表

Masatoshi Arikawa (2009) “Simple High-dimensional Geocoding by Matching Natural Spatial Descriptions with Sidewalk Network Databases” Austria-Japan Joint Workshop on Natural Language and Spatio-temporal Information, Sept. 30 to Oct. 1 2009, Sanjo Conference Hall, The University of Tokyo.

Morishige Ota, Masatoshi Arikawa (2009) “A Curriculum for Geospatial Information Technology and Its Experimental Practice” the

6th International Symposium on Digital Earth (ISDE6), Peking.

Yusuke Kataoka, Yasushi Asami, and Kazuaki Kohriyama (2009) "An analysis on the spatial diffusion patterns of influenza based on absen-tee rates in elementary schools" *Changing Environments, Changing Health, XIIIth International Symposium in Medical Geography*, pp.136.

有川正俊, 鍛冶秀紀, 光安皓, 清水知子, 秋山實 (2009) 「公共事業における図面位置表示・管理ウェブサービスの提案と実装」2009年度地理情報システム学会全国大会, 2C-5, CD-ROM 論文集.

鍛冶秀紀, 有川正俊, 2009. 屋内・地下も適用範囲に入れたブログベース私的位置情報サービス. 2009年度地理情報システム学会全国大会, 2C-3, CD-ROM 論文集.

貴田達也, 有川正俊 (2009) 「モバイル利用環境のための公共交通アニメーションマップの提案と実装」2009年度地理情報システム学会全国大会, CD-ROM 論文集.

鶴岡謙一, 有川正俊, 2009. コンテンツ配信・収集による地図統合オーディオツアーの共有サービス. 2009年度地理情報システム学会全国大会, 2C-4, CD-ROM 論文集.

#### 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(研究番号114)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

記して謝意を表する。

#### 参考文献

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

Viboud, C., Boëlle, P.Y., Carrat, F., Valleron, A.J. and Flahault, A. (2003) Prediction of the Spread of Influenza Epidemics by the Method of Analogues. *American Journal of Epidemiology*, **158**, 996-1006.

ヨハン・ギセック (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.

鈴木宏・坂井貴胤・齋藤玲子・古俣修・佐藤勇 (2003) 「GIS (地理情報システム) によるインフルエンザ感染症の疫学解析」『インフルエンザ』, **14**(1), 35-41.

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.



## 感染症の流行推移を捉える空間分析手法の開発

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 東京大学空間情報科学研究センター助教

### 研究要旨

地域における健康危機管理では、感染症流行の空間的把握が、広範囲にわたる被害を抑止するための対策上重要である。本研究では、インフルエンザの流行推移から、空間的特徴を発見するための分析手法の開発をおこなった。流行拡大に影響を及ぼす他地域の状況を加味した、時空間流行モデルを構築し、地域間に生じる影響度について、週2回の小学校欠席数データから推計した。地域間の流行影響度の推定結果より、特に大きい影響があるとされる地域のペアが存在することが確認された。また、隣接する地域のなかでも影響に差異があることが示された。

### A. 研究目的

地域における健康危機管理において、感染症の流行状況を空間的に把握することは、広範囲にわたる被害を抑止するための対策上重要である。本研究では、例年国内各地で発生するインフルエンザを対象として、その空間的な流行推移を対象とした分析をおこなう。

インフルエンザは、通常は流行が周期的に現れる感染症であり、国内においては、毎年11月下旬から12月上旬頃に始まり、翌年の1~3月頃に患者数が増加、4~5月にかけて減少していくという流行のパターンを示す。その個人や社会に与える影響の重大性から、インフルエンザは「感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律」により、感染症発生動向調査における定点把握疾患に定められている。

インフルエンザの流行を扱った研究については、Cliff et al. (1986) による空間的な側面に着目した流行分析から、Viboud et al. (2003) の気象学的手法を用いた流行予測に至るまで、その分析アプローチは多岐にわたる。日本を対象としたものとして、中谷 (1994) では空間的相互作用を考慮した理論疫学モデルによる分析がなされ、鈴木ほか (2003) では、GIS (地理情報システム) を用いた患者情報や小

中学校の休校情報の解析が行われた。

感染症流行において、小学校区のような詳細な地域を単位とした分析は、適確かつ迅速な流行状況把握に非常に有効である。その一方で、対象とする地域単位を小さくするにしがたい、全体としての傾向が見えづらくなることで、たとえ地図上であっても流行の空間的拡大が容易に理解できないおそれもある。

本研究では、小学校の児童欠席状況データを用いて、インフルエンザの流行推移から空間的特徴を発見するための分析手法の開発をおこなうことにより、地域の危機的状況の早期発見や対応支援に資することを目的としている。

### B. 研究方法

本研究では、インフルエンザ流行を分析するにあたり、これまでに宮城県仙台市および福岡県北九州市を対象地域とし、市内全小学校の毎週、もしくは週2回分の児童欠席数データを用いた。小学校の欠席数が空間分析データとして妥当である理由としては、まず小学校の在校生数という欠席者数に対する母集団が明確であることがあげられる。つまり、他の小学校の流行状況を考慮した分析が可能であることがあげられる。さらに、流行の早

期発見を念頭においた際に、迅速に収集できる可能性が高いことなども有利な点である。そこで本研究においては、小学校欠席状況が各地域の流行状況を表しているものとして、インフルエンザの流行に関する空間分析をおこなった。

インフルエンザの流行が、免疫を持たず感染可能な人と、感染している人との接触により拡大することをふまえ、流行の時空間モデルを構築する。ここでは、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、地域が単一のものとして存在し、他の地域の影響を全く受けない、つまり外から閉ざされた状況では、時刻  $t$  における感受性者数  $S(t)$ 、感染者数  $I(t)$ 、隔離人口  $R(t)$  の時間的推移は、古典的な SIR モデルによると、感受性者と感染者の接触の程度を示す感染率  $\beta$ 、および隔離率  $\gamma$  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)。

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta \cdot S(t) \cdot I(t), & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dI(t)}{dt} = \beta \cdot S(t) \cdot I(t) - \gamma \cdot I(t), & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dR(t)}{dt} = \gamma \cdot I(t) & (3) \end{cases}$$

ちなみに、 $S(t)$ 、 $I(t)$ 、 $R(t)$  の時間的推移は、以下の図のようになる。

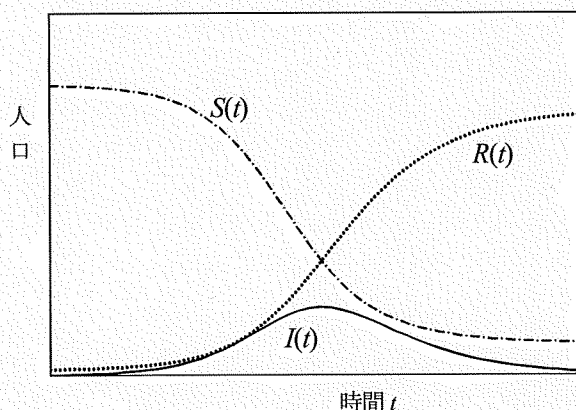


図1 SIR モデル

さらに、(1)~(3)式を離散化することにより、

次のような差分方程式に書き換える。

$$\begin{cases} S(t+1) = S(t) - \beta \cdot S(t) \cdot I(t), & (4) \end{cases}$$

$$\begin{cases} I(t+1) = I(t) + \beta \cdot S(t) \cdot I(t) - \gamma \cdot I(t), & (5) \end{cases}$$

$$\begin{cases} R(t+1) = R(t) + \gamma \cdot I(t) & (6) \end{cases}$$

上記の SIR モデルは単一の地域内の流行現象を記述するものであるが、現実には地域は他の地域と隣接していたり、または交通機関などで連結されていたりしており、それぞれ流行に影響を及ぼし合っている。特に、小学校区という小さい地域単位で流行を考えるにあたり、周辺の他地域の影響は決して無視できないとともに、元来、感染症が人と人の間の接触によって起こることを考えれば、流行において他地域の考慮は必然である。

そこで本研究では、流行の過程を把握するために、各地域間の影響に着目した、インフルエンザの流行モデルを検討した。ここでは、他地域から受ける影響を考えるにあたって、各小学校区を地域単位とした隣接グラフを作成した (図2)。

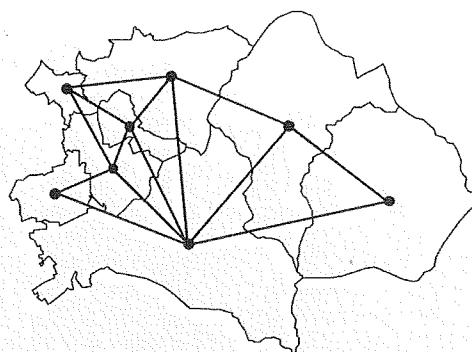


図2 各地域と隣接グラフ

以上をふまえ、(4)~(6)式からさらに、地域  $i$  の流行推移に対して影響を及ぼす、地域  $j$  の感染者数の存在を考慮した、時空間的流行モデルを本分析において構築した。

ここで本来の感染率  $\beta$  は、感受性人口と感染人口の密度の積に比例するとされるが、ここでは他地域との空間関係にもとづいた流行に対する影響を加味したものとなり、本分析では「接触パラメータ」と呼ぶものとする。また、隔離率については、前述したものと

様に「隔離パラメータ」として扱う。

すると、地域内の接触パラメータを  $\beta$ 、地域  $i$  と地域  $j$  との間の接触パラメータを  $\beta_{ij}$ 、そして隔離パラメータを  $\gamma$  とすると、地域  $i$  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、以下の(7)~(9)式のように表される。これにより、インフルエンザ流行拡大における、地域間の影響の差異を流行モデルにおいて明示することが可能となる。

$$\begin{cases} S_i(t+1) - S_i(t) = -\beta \cdot S_i(t) \cdot I_i(t) \\ \quad - \sum_{j \neq i} \beta_{ij} \cdot S_i(t) \cdot I_j(t), & (7) \\ I_i(t+1) - I_i(t) = \beta \cdot S_i(t) \cdot I_i(t) \\ \quad + \sum_{j \neq i} \beta_{ij} \cdot S_i(t) \cdot I_j(t) - \gamma \cdot I_i(t), & (8) \\ R_i(t+1) - R_i(t) = \gamma \cdot I_i(t) & (9) \end{cases}$$

上記の(7)~(9)式において、小学校欠席数データから、まず  $I_i(t)$  および  $I_i(t+1)$  が既知である。さらに  $S_i(t)$  の値が与えられれば、 $S_i(t+1)$  が求められることになるが、初期の感受性人口である  $S_i(0)$  がデータからは不明である。

そこで、初期の感受性人口については、市全体にわたってまだ本格的な流行の開始前と考えられるため、各小学校の全校生徒数に一定の割合を乗じたものを、各地域の初期段階の感受性人口とした。なお、以下の結果は、全校生徒数に 0.7 を乗じたものを用いて計算したものを示す。

以上をふまえ、それぞれの小学校の各時点での欠席数を用いて、地域内の接触パラメータ  $\beta$ 、隔離パラメータ  $\gamma$ 、そして地域間の接触パラメータ  $\beta_{ij}$  について、非線形最小二乗問題として推計した。

さらに、計算の結果、得られた各地域間の接触パラメータを、流行期間を通じた地域間の影響の強度と見なし、その空間分布を地図上において検討した。

### C. 研究結果

宮城県仙台市の2008年1月から3月までの小学校欠席状況を対象として、分析をおこな

った。市内の公立小学校数は、分校1校を含む124校となっている。

調査日は原則として、火曜日と金曜日の週2回実施されており、各調査日の各小学校の欠席数、および各小学校の全校生徒数を分析に用いた。ただし、学級閉鎖中の欠席数については、閉鎖直前の欠席数を当日の欠席数に加算している。図3に、各調査日の欠席数の推移を示す。

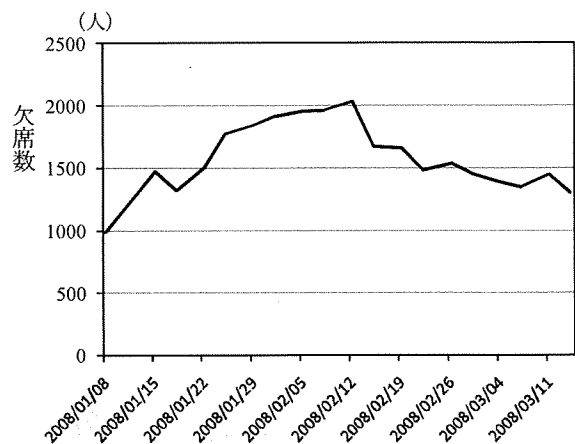


図3 仙台市全小学校の欠席数推移

欠席数データを用いた、最小自乗法によるパラメータ推定の計算においては、MATLAB Optimization Toolbox を使用し、地域内の接触パラメータ、地域間の接触パラメータ、そして隔離パラメータの推定をおこなった。実際の計算において、接触パラメータの推定値が負の値となった際には、その地域間は流行を拡大させる方に作用しないと考えられることから、その場合パラメータは0として再計算をおこない、最終的に推定する全パラメータが0以上の値で収束するまで、最小自乗計算を繰り返し行った。

結果として、全地域で共通の値となる、地域内の接触パラメータ  $\beta$ 、および隔離パラメータ  $\gamma$  の推定値は、それぞれ  $\beta=2.41 \times 10^{-14}$ 、 $\gamma=4.31 \times 10^{-1}$  となった。さらに、データからは未知となっている初期段階の感受性人口が、全校生徒数にそれぞれ 0.6、0.8 を乗じたものを用いた場合についても検討した。この地域外の影響を表す各地域間の接触パラメータの推定値について、設定したそれぞれの感受性

人口についての頻度分布を図4に示す。図4を見ることで、地域間の流行影響度を表す接触パラメータの値の分布が、異なる感受性人口の間で比較的類似していることが理解できる。

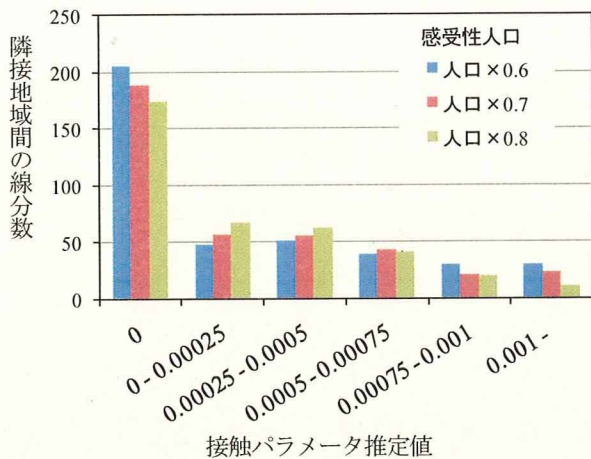


図4 異なる感受性人口における地域間影響度

図5は、地域間の接触パラメータの推定値が特に大きい $7.5 \times 10^4$ 以上の地域間について、地域を線分でつないだものを地図上で表した、地域間の影響度の空間分布である。

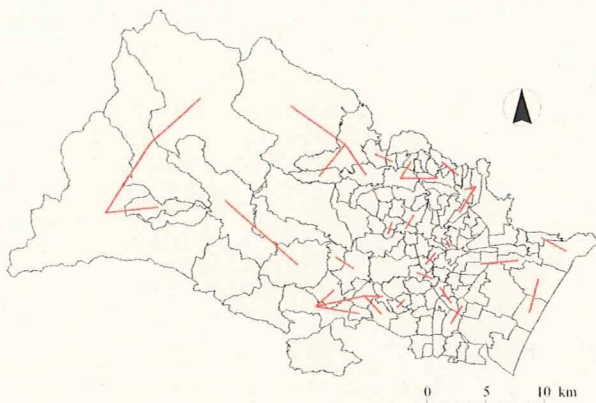


図5 地域間影響度の空間分布

図5をみると、隣接する近距離にある地域のなかでも、流行の影響に差異が生じている一方で、周囲の多くの地域に多大な影響を及ぼす地域が、少ないながら存在していることが確認できる。また、市の周辺部の西方の地域において、影響度が特に大きいものがあるが、この理由の一つとして、計算において市

外の地域の存在を無視しているために、隣接している限られた地域の影響が必然的に強くなる結果を導いていると考えられる。ところが、市の東方の海側の地域は、元々他地域との接触が少ないにも関わらず、同様の傾向が見られないことを考慮すると、西方の地域において地域人口（生徒数）が少ないために、感染人口の変動の誤差が大きくなり、突発的な欠席数の上昇により、非常に流行が進んでいる状況を生じやすいことも大きな要因であると考えられる。

さらに、本研究では単に地域どうしが隣り合っている隣接地域間の影響に加えて、1) 鉄道路線を考慮した地域との間の影響度、および 2) 地域間のそれぞれで異なる接触パラメータを設定した場合の流行方向性、のそれぞれについて分析をおこなった。

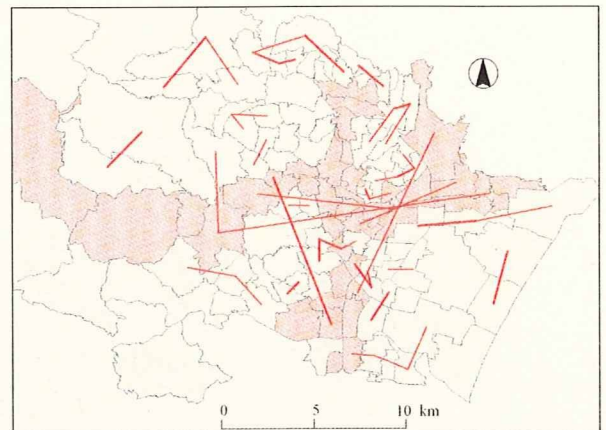


図6 鉄道によるアクセスを考慮した地域間影響度

図6は、鉄道路線でアクセス可能な地域を含めた地域間の接触パラメータの推定値が特に大きい $7.5 \times 10^4$ 以上の地域間について、地域を線分でつないだものを地図上で表した、地域間の影響度の空間分布となる。概ね南北および東西に帯状につながる地域が、鉄道駅が地域内に存在することを表している。ただし、全校生徒数が100人以下の地域については表示していない。



さらに、隣接地域間で異なる接触パラメータを設定することで、2 地域間のそれぞれで異なる方向性を地図上で表現したところ、複数の流行の空間的連続性が認められた(図7)。

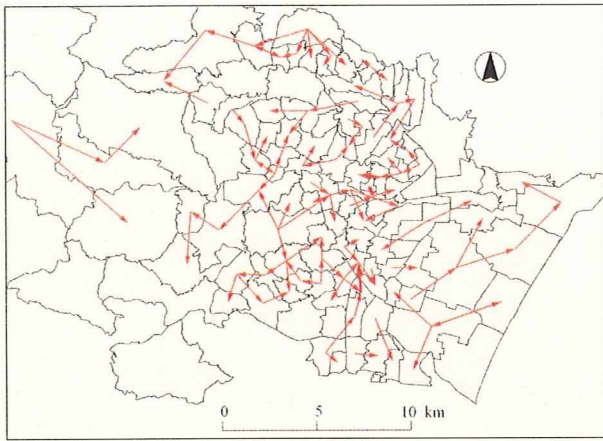


図7 隣接地域間における流行方向性

#### D. 考察

流行拡大における地域間に生じる影響度をみると、図4のように接触パラメータの推定が比較的広い範囲に値に分布しており、少ないが特に大きい影響があるとされる地域のペアが存在することが確認された。さらに、これらの影響の大きいものについて、図6の仙台市の地図上で、その空間分布を重ね合わせたところ、概して隣接する地域のなかでも影響に差異が生じていることが示された。さらに、仙台駅が位置する中心部付近では、地域間の影響が大きいものが多く、中心部へ方向において接触の可能性が高いことで、流行拡大が起こりやすいことを示唆している。

本研究では、これまで流行に影響する地域として、データが存在する範囲内でのみ分析対象としてきた。しかし、通常は周囲が海で囲まれているなどでなければ、周囲に対象外となる地域が存在している。もちろん市や県の行政区で考えたときに、周縁に位置する地域は、山や川などの自然条件により、必ずしも範囲外となる地域と強く影響し合わないと考えられることもあるが、分析対象地域外についても考慮することは、より一般化されたモデルを構築する上でも必要であると言える。

また、ここでは隣接関係にある地域間でのみ分析対象としているが、影響を及ぼす地域とは、必ずしも隣り合っている地域に限らず、現実には鉄道などの交通機関でアクセスが良い地域も含まれる。これらの地域状況について、隣接関係に柔軟かつ適切に取り込むことにより、本研究でのモデルで、より多くの地域を対象とすることが可能である。

さらに、地域間での流行に関わる影響は、相互の接触により生じるものとして、本研究の場合のように2地域間で影響度を同一とみなす一方で、地域間での影響の偏りを流行における方向性としても捉えることができる。そのために、より大規模な計算が必要とはなるものの、双方向の影響度をそれぞれ異なるパラメータとして推定する方法も有り得る。

なお、地域の感受性人口については、初期人口を全校生徒数の7割とした場合のみならず、6割および8割とした場合についても、同様に地域間の接触パラメータ計算をおこなったところ、推定値の頻度分布および空間分布について、ほぼ同様の結果を得ており、本研究において感受性人口を所与としたことについては妥当であったとの結論を導いた。同じく、感受性人口が異なる状況で、他のパラメータの推定値について比較したところ、感受性人口が多い状況であるほど、地域内での接触パラメータの推定値が小さい値を得る傾向が得られた。このことから、新型インフルエンザのような多くの人々が免疫を持たない状況下では、地域外の影響がより大きくなると解釈することができ、他地域の状況を十分に監視する正当性を与えるものと理解される。また、隔離パラメータについては、感受性者数によらず、0.5付近で安定した推定値を得た。鉄道で移動可能な地域について考慮した場合には、一定の影響の存在が認められるものの、特に影響の強いものについては隣接地域間と比較して多くなく、流行拡大においては距離的な要因が非常に強いことを示唆している。

小学校欠席状況データの地域健康危機管理への活用例として、本研究において2007年度より、小学校欠席率の分布図をクリギングによる空間補間で作成し、インフルエンザ流行