

## 第 40 回日本小児感染症学会教育講演 4

GIS (地理情報システム) を用いた感染症の  
空間的疫学解析\*

鈴木 宏\*\* 佐々木 諭\*\* 坂井 貴胤\*\* 齋藤 玲子\*\*  
木村 義成\*\* 熊木 彬彦\*\* 小熊 妙子\*\* 藤野 康之\*\*  
五十嵐 久美子\*\* 山口 正浩\*\* 関 奈緒\*\*

**要旨** 地理情報システム (geographic information system : GIS) は 19 世紀に医師ジョン・スノーがロンドンのコレラ流行解析で用いたことから発展して、地理情報をコンピュータシステム化したものであり、この数年世界各地において医療・保健分野で頻用されつつある。視覚的効果も有す GIS による空間・時系列的疫学は、感染症の伝播解析を把握し、危機管理の一端としての感染症予防・制御への有益な情報を提供するなど、極めて有効な手法として注目されている。

## はじめに

ヒトは生を受けてすぐに、微生物の攻撃にさらされる。しかし、通常は共生の形をとり健康に暮らしている。一方、毎年何度も熱を出したり、下痢をしたり、風邪を引いたり、さまざまな微生物とヒトは出会うが、伝播機序は不明な点が多い。これらの状況を明らかにする、視覚化する、新たな発想を得る、該当疾患の予防・制御法を検討する、伝播のシミュレーションを行うなどのために、地理情報システム (geographic information system : GIS) が登場してきた<sup>1,2)</sup>。

今回、特に GIS による感染症の空間疫学解析の有用性を紹介する。本手法の有用性を WHO は広く訴えており、疾病、健康関連疫学資料、住民情

報などと地理情報とを連結し、多様な空間的、時系列的解析が容易となった。われわれのこれまでのインフルエンザ、コレラなどの感染症疫学解析を紹介し、本システムの将来展望を紹介する。なお、ほとんどの人々にとって、GIS については不案内と思われるので GIS の概要についても併せて記す。

## I. 統計解析と疫学研究との関連

最近、医療の分野において、統計処理の重要性が高まりつつあり、感染症でもその傾向は強い。これは、新興・再興感染症としての対応が新たに論ぜられた時期と一致する。この背景として、1970 年頃から感染症の大学教育が停滞したと関連し、疫学も癌などの非感染症分野に偏重されてき

\* Spatial epidemiological analysis of infectious diseases by geographic information system (GIS)

**Key words** : GIS (地理情報システム), インフルエンザ, コレラ, 疫学解析, 感染症サーベイランス

\*\* 新潟大学大学院医歯学総合研究科国際感染医学講座公衆衛生学分野 Hiroshi Suzuki, Satoshi Sasaki, Takatsugu Sakai, Reiko Saito, Yoshinari Kimura, Akihiko Kumaki, Taeko Oguma, Yasuyuki Fujino, Kumiko Igarashi, Masahiro Yamaguchi, Nao Seki  
〔〒 951-8510 新潟市中央区旭町通 1-757〕



図 1 医学部学生 (100 名あまり) への GIS 実習

たことがあげられる。感染症にとっては、最近では微生物の分子生物学的手法の進展により、分子疫学的研究が精力的に行われている。

疫学、統計解析の手法はさまざまあり、研究目的と得られた資料の解析方向などにより、最適のものを選択することが必要となる。このことから、単なる手法の勉強だけでなく、研究目的にあった最適解析法の選択のための on the job training が強く望まれている。これは、大学院、専門医育成と直結する分野でもあり、大学に在籍するものとして本問題解決に向けて努力している。

## II. GIS の背景

感染症とその病因を追求する際に地理的要因との関係を検討するのは、疫学調査の基本である。歴史的には、19 世紀に医師ジョン・スノーがロンドンでのコレラ流行で提示した例は有名である<sup>3)</sup>。コレラ菌を発見する以前に、コレラ死亡者が特定の井戸の周囲に集中発生している状況を地図に表示して感染源を特定化し、その使用禁止により流行を終息させる原動力となった。なお、この病気は「患者の放散する毒気 (ミアマス)」によって起こると、その時代は考えられていた。

健康と疾病の因果関係を考察する際に、生物的要因と社会的要因とを考慮する。これらの情報と地理的・空間的な情報をコンピュータ処理する GIS が開発され、多面的分析を容易に行える状況となり、2000 年に入り、保健・医療分野における GIS の台頭が目される。この傾向と軌を一にして、われわれの教室でも GIS を教育に取り入れ、学部 4 年生約 100 人に実習を行い、大学院生もこ

の方面の研究を精力的に進めている (図 1)。学生からは、手軽に楽しい解析ができると好評を博している。

## III. GIS の有用性と問題点

GIS による疾病情報などの空間的可視化は、数字的提示より誰にも理解しやすく、しかも関係者相互の議論内容を飛躍的に向上させ、仮説を構築しながらの解析作業や、その後の計画策定が容易となる。具体的には、感染症の疫学調査において、患者情報に人口、交通などの社会的条件も含めた因果関係を GIS 化し、感染症の伝播状況を明らかにし、感染症の発症予測シミュレーションも可能である。実際には的確なワクチン投与、抗ウイルス剤やそれ以外の一般的な予防措置につなげることである。また、GIS による空間的表示・解析資料は、集団発生や新種の重篤な感染症発生時に際しての感染症予防・制御策定などの危機管理の一端としての有効活用も期待できる。結核においては、住民の地域分布と DOTS の薬剤投与活動に対する医療人員の配分、活動評価にも使用できる。さらには、地域の健康・保健に関する住民・公衆衛生情報資料の GIS を用いた視覚的表示法は、地域保健診断・計画策定への有効な資料ともなり得る。

GIS 運用上の問題点として、容易に操作できる機材がわが国では限られていることである。また、用いられるデータの発信源の多くは公的機関であり、患者情報の詳細なデータの入手に制限があることである。しかし、小児感染症の分野においては、第一線の先生方であり、データ入手に関しては障害がない。GIS の最大の問題点は、病名や住所情報など患者のプライバシー保護と機密保持は重要となる。解決法として、地図解析結果の提示に際し、個人情報特定化されないように地域を拡大して情報を薄めるとか、グループとして表現するとかのデータ処理も考えられる (図 2)<sup>4,5)</sup>。

## IV. GIS の実際、感染症を対象として

### 1. ザンビア国ルサカ市におけるコレラ流行

ルサカ市において、1997 年から JICA (国際協力事業団) によりプライマリ・ヘルス・ケア (PHC)

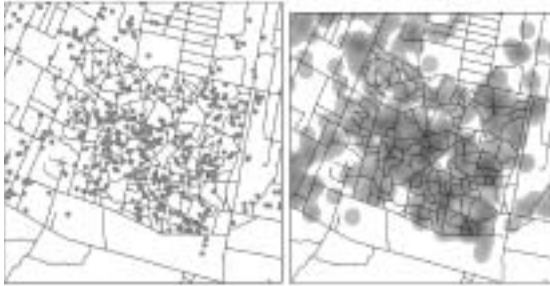


図 2 コレラ発生状況

左図は患者ごとの発生状況（点は患者）、右図は左の図の患者をカーネル密度分析法により表現し、患者ごとの分布を全体として表示する。

プロジェクトが行われてきた。5歳以下の小児疾病対策を中心としたプロジェクトであり、その活動のなかに安全な飲料水と生活環境改善からの下痢症予防が含まれる。

ルサカ市のスラム地区では毎年コレラ流行がみられ、JICAは深井戸を掘り、流行阻止を目指した。しかし、依然としてコレラ流行が発生し、水の保存・使用方法、手洗いの励行、さらには住民活動の一端として、数家族用の衛生的なトイレの設置や付近の小川の清掃などの衛生環境整備運動を併せて行った。

2003/2004年に176名の死亡を伴う6,058名の患者発生がみられ、デジタル地図を人工衛星から新たに作製し、GISを使用したルサカ市コレラ流行の空間疫学解析を行った(図2)<sup>4,5)</sup>。今回のコレラ発生に関し、発生分布調査、発生地域住民の衛生に関する行動と知識、コレラ感染のリスク要因分析も行った。また、住居表示がないこの国で、GPSを用いて住居をデジタル地図に表示する作業と同時に住民調査を行い、住戸の位置と家族調査情報として住宅ごとの構成人数、経済や教育程度、安全な水や上下水道の使用状況、疾病、予防接種、乳幼児の成長状況の情報を得た。

市内15カ所の患者発生を地図上に提示し、鉄道路線を境として、西側に患者の約8割を占める地域的な偏重がみられた(図3)。この違いは、英国の植民地時代に西側が労働者(黒人居住区)、東側をそれ以外の人々の居住区(白人居住区)にする都市設計、都市整備との関連性が示唆された。

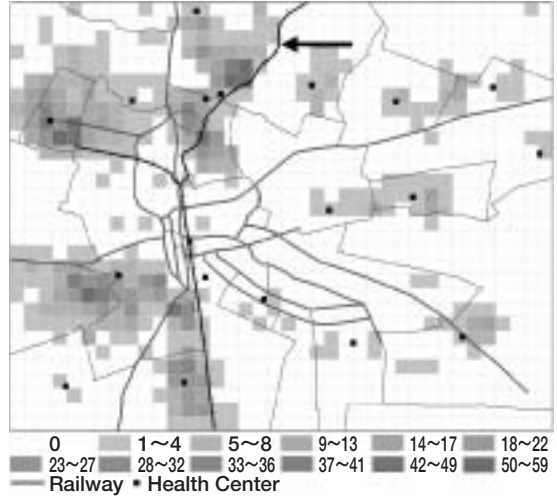


図 3 ルサカ市コレラ患者数コプロレス地図

1km四方の者患者の多少を示す。鉄道路線(矢印)を境として、西側が患者の約8割を占める。この地域は植民地時代には労働者用であり、インフラストラクチャの不備が示唆された。

2005/2006年度のコレラの流行では、GISによる解析により排水溝施設完備度の低さと患者発生数増加が関連していることが示唆された。このように、都市整備としての下水・排水施設の充実がコレラ発生を抑制する可能性が示唆され、この改善に向けた諸外国からの支援を要請する資料となった。

発生した地域の1カ所を選び、GISとGPSにより患者個々の住居地点を図示し、週ごとの発生状況を検討した。地域をさらに行政区分として12地区に分類し、地区により患者数に違いがみられた(図4)。住民から得られた情報として人口密度、経済や教育程度、下水施設、便所の有無、浅井戸の飲料水使用状況などの危険因子とこの地域の流行状況との関連を統計学的に検討し、下水施設と便所のないことが患者発生増加に関連することが示唆された。

これらの情報から、われわれはコレラ対策として、雨量、患者数、患者の地理的分布、致死率などを一つの目安にして行うことを提言した。このように、GISによる検討結果が感染症予防・制御に対する資料として効果が期待できた。



図 4 ルサカ市ジョージ地区、行政区ごとのトイレのない世帯の割合  
ジョージ地区の地区別コレラ発生状況とリスク因子の関係を検討する。



図 5 冬期インフルエンザの県別流行ピークの移動状況

インフルエンザは九州北部から本州を北上して伝播することが明示された。

## 2. インフルエンザ感染症の GIS による疫学

インフルエンザウイルス感染症を取り巻く環境は大きな変化を迎え、ワクチン再開、迅速診断キット導入、抗ウイルス剤の使用と本疾患対策の3本柱がそろった。これを有効利用するに際し、インフルエンザの疫学調査をリアルタイムに近い形で、全貌が誰にでもわかりやすい方式が望まれている。

インフルエンザウイルス感染症の GIS 解析において、フランスの例では患者発生を時系列的に Kriging 法により解析し、国内をある地域からある地域へと患者の中心が目に見える形で伝播している状況を報告している。なお、この方法は歴史的には地球環境などの土木的な解析に用いられたものであり、感染症では上記したフランスの例以外に、ロタウイルス、性病、寄生虫などの研究でも用いられている。また、新型インフルエンザの流行阻止戦略をシミュレーションにより解析し、有効性を検討することが花盛りである。この際にも GIS は基本手法として用いられている。

感染症の情報源にはそれぞれ特徴がある。サーベイランスからの情報は、保健所管轄の人口からの算出された定点数と限定され、都市部に集中し、

報告数も定点頼みで、臨床症状からの患者情報である。一般医院からの情報は、迅速診断によりインフルエンザの血清型もわかり、県内全域を網羅する医院からの情報システムが完備すれば地域性、迅速性からも理想的な GIS による解析が可能と思われる。小中学校の休校の情報は、全県をカバーし、毎日の変化を県に報告する義務があり、流行の GIS 解析に有望である。

### 1) 厚生労働省の感染症サーベイランス情報

インフルエンザ流行のピークの時系列的な Kriging 法による空間解析により<sup>6,7)</sup>、毎年のインフルエンザは日本の南ないしは西から北上する傾向を示し、A/H3N2 型が変異した際には大きな流行となり、短期間に日本全体に伝播することが示唆された(図 5)<sup>8~11)</sup>。これは、新型インフルエンザ発生時には日本全体に短時間に伝播することを意味し、しっかりした予防・制御計画の早急な策定が強く望まれた。

### 2) 小中学校の学校・学級閉鎖

流行時期の順に従って濃淡表示による学級・学校閉鎖実施状況からの空間的解析においては、県





図 6 新潟県内の小中学校におけるインフルエンザの学校閉鎖状況の推移

発生早期の週の発生学校を黒い点とし、経過を追って薄くし、伝播状況を図示した。

全体では上越地方から始まり、中・下越地方へ、都市間では大きな市を中心としてその周辺部へと拡散していったことが示唆された(図6)<sup>8,10)</sup>。学級・学校閉鎖状況とサーベイランス定点からのインフルエンザ様患者数の推移はほぼ同様に増減し、学級・学校閉鎖からの疫学調査は全県の流行状況の指標としての有効性が今回の調査でも認められた。インフルエンザ流行中は学級・学校閉鎖状況が発生後速やかに毎日県に報告されて、学校は県内全域を網羅し、しかも学校数は感染症サーベイランス定点数の9倍と、疫学調査に重要な要因をすべて備えており、流行の程度と地域を特定化できることが背景にある。また、ある地域での解析では、インフルエンザによる小中学校の学校・学級閉鎖の週ごとの変化のGISによる空間的解析を行った。平野部分では一気に広く拡散し、狭い山間部においては交通網に沿った伝播様式をとらえた(図7)。

### 3) 開業医からの患者情報

インフルエンザの空間的解析を新潟市内の隣接する3小児科医院との限定した地域で行った。流



図 7 上越地域の小中学校におけるインフルエンザによる学校閉鎖状況の推移

インフルエンザは道路網に沿って流行が伝播していた。

行はA型とB型はほぼ一致し一峰性であり、A型は乳幼児を、B型では小学生を中心とした流行であった。Inverse distance weighted (IDW) 法による3小児科医院におけるA型、B型の型別の患者分布として、A型は線香花火のように多焦点で拡散していき、B型では流行の中心が徐々に地理的に移動していくというA型とは異なった流行伝播様式を呈した(図8)。なお、IDW法は空間補間法の一つであり、測定点の値から未測定点の値を推定する方法である。

以上、GISによるインフルエンザ感染症の空間的解析は、地域に密着した形での疫学情報が視覚的に訴えられ、今後の予防対策への貢献が十分に期待でき、今後多くの感染症や他の公衆衛生的活動にも有効と思われた。今後は本解析法を利用し、広汎な被害をもたらす新型インフルエンザによるpandemic発生時に流行動態を的確に視覚的に捉えることはその予防・制御対策に対し貴重な資料となる。具体的には、的確なワクチン投与、抗ウイルス剤使用、医療人員・施設整備などの危機管理対策としての有効情報ともなり得る。通常の流行時において迅速診断試薬や抗ウイルス剤の選択の一助となり得ると思われる。さらには、学級・学校閉鎖状況が地域の流行との相関もあることから、学級・学校閉鎖の時期や期間設定への有用な情報

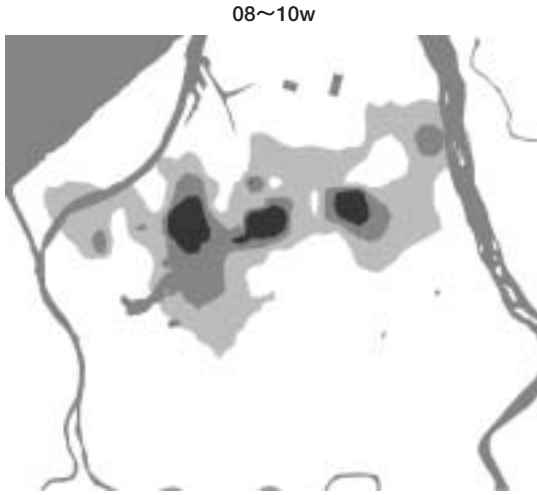


図 8 新潟市内の B 型インフルエンザウイルスの  
伝播情況

週を追って B 型インフルエンザウイルス流行を解析すると、本ウイルスはゆっくりとある方向に移動していることが示された。

となると思われる。

### 最 後 に

GIS による感染症の空間的分析・表示は、地域に密着した形での疫学情報が視覚的に訴えられ、今後の予防対策への貢献が十分に期待でき、今後多くの感染症や他の公衆衛生的活動にも有効と思われる。諸先生が本手法を駆使し、地域の種々の感染症のみならず地域医療・保健活動に役立てていただければ幸いです。

謝辞：本研究には、よいこの小児科さとう 佐藤勇、佐野医院 佐野康子、庄司小児科 庄司義興、国立感染症研究所情報センター 谷口清洲、岡部信彦等の諸先生のご支援により行われており、深謝申し上げます。

### 文 献

- 1) Cromley EK, McLafferty SL : GIS and public health, The Guilford Press, New York, 2002
- 2) Moore DA, Carpenter TE : Spatial analytical methods and geographic information systems : use in health research and epidemiology. *Epidemiol Rev* 21 : 143-161, 1999
- 3) Brody H, Rip MR, Vinten-Johansen P, et al : Map-making and myth-making in Broad Street ; the London cholera epidemic, 1954. *Lancet* 356 : 64-68, 2000
- 4) 佐々木諭：ザンビア国ルサカ市貧困居住区におけるコレラ流行に関する空間疫学ならびにリスク要因分析. *新潟医学会* 121 : 369-384, 2007
- 5) Sasaki S, Suzuki H, Igarashi K, et al : Spatial analysis of risk factor of cholera outbreak for 2003-2004 in a peri-urban area of Lusaka, Zambia. *Am J Trop Med Hyg* 79 : 414-421, 2008
- 6) Carrat F, Valleron AJ : Epidemiologic mapping using the "kriging" method : application to an influenza-like illness epidemic in France. *Am J Epidemiol* 135 : 1293-1300, 1992
- 7) Carrat F, Valleron AJ, Boussard E, et al : Surveillance of influenza-like illness in France. The example of the 1995/96 epidemic. *J Epidemiol Community Health* 52 : 32S-38S, 1998
- 8) 鈴木 宏, 坂井貴胤, 齋藤玲子, 他 : 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* 4 : 35-41, 2003
- 9) Sakai T, Suzuki H, Sasaki S, et al : Geographic and temporal trends in influenzalike illness, Japan, 1992-1999. *Emerg Infect Dis* 10 : 1822-1825, 2004
- 10) 鈴木 宏, 坂井貴胤, 齋藤玲子, 他 : インフルエンザ伝播の特性～GIS を用いた空間解析～. *医薬ジャーナル* 41 : 99-103, 2005
- 11) 坂井貴胤 : GIS (地理情報システム) によるインフルエンザ感染症の空間的疫学解析. *新潟医学会* 117 : 626-635, 2003

\* \* \*