

## シナリオ 2

平日の夜に九州の地方都市の空港近くで航空機が墜落。

この空港は市街地近くにあった。

放射性医薬品として、Ga-67 と I-131 がそれぞれ 3GBq 積まれていたが、それらが墜落時の衝撃で飛散した<sup>67</sup>。

わが国には核医学検査を行う医療機関が約千箇所あり、放射性医薬品の供給量は F-18 で 10TBq、Mo-99 のジェネレーターが 160TBq、Tc-99m で 316TBq、I-131 で 11TBq となっている。これらの医薬品は主に国内 2 箇所の工場で製造され、全国の医療機関に運ばれている。これらの輸送件数は、月間 2 万件程度であり、毎日、千件程度の輸送が行われている。

輸送時の事故シナリオ例は、過去の厚労科研でも検討されており、問題の構造はこれと同様である<sup>8</sup>。

<http://h-crisis.niph.go.jp/node/20049>

<sup>6</sup>夕方以降の羽田からの便に放射性医薬品が積まれている。墜落による周囲の汚染例あり。

<sup>7</sup>輸送中線源のトラブル

日航機墜落事故（1985）では、H-3, C-14, P-32, Ga-67, I-131 など 6GBq のうち 64.8%が回収

バランスウエイトに使われていた約 248kg の劣化ウランのうち約 80 kg が回収

<sup>8</sup>搬送数が膨大なので輸送中の交通事故例は多い。運転手死亡例もあり。輸送中に線源が盗まれた事例も複数ある。

## その他の想定

放射性医薬品として用いられている

Ra-223 が医療機関から盗難され、飲料水タンクに入れられた。

## 関連した事例

I-131 を 1.1GBq 投与され、自宅に戻る途中であった患者が、交通事故に遭遇し、放射性物質を投与された事実に関係者が気づかないまま、医療機関に搬送され、治療を受けた。

1GBq の Y-90 が体内に残存している悪性リンパ腫の患者が病院外で何らかのトラブルに巻き込まれた。

## 韓国における治療用密封小線源の盗難事故

第 22 回「医療放射線の安全利用研究会」フォーラムは医療用線源のセキュリティ対応がテーマであった。本稿では、このフォーラムに関連して、悪意ある線源盗取事件として、韓国で 1998 年に発生した事例について紹介する。

この事例は、医療機関の放射性同位元素 (RI) 貯蔵室に貯蔵していた子宮がん治療用セシウムと口腔がんおよび顎部がん治療用イリジウムの密封小線源が盗取され、乗用車の座席ポケットに積み込まれたものである。

この事件を国際原子力事象評価尺度 (INES) に仮に当てはめると、基準 1 (所外への影響) : レベル 2、基準 2 (所内への影響) : レベル 2(?)、基準 3 (深層防護の劣化) : レベル 1 であることから、レベル 2 の「異常な事象」であり、24 時間以内に IAEA を介し公式情報が加盟各国に配布されることになる。

### 【事故概要】

ソウル市の原子力病院においてレジデントが RI 貯蔵室の鍵を鋸で切断し線源を盗み出し、危害対象者の車の運転席カバーポケットに隠した事例。病院の朝の点検で鍵が切断され線源が盗難されたことに気づき事件として覚知された。医療機関は、すぐに管轄警察署に通報し、科学技術部等にも連絡した。なお、韓国は日本と同様に密封線源の規制は科学技術部が管轄している。ただし、日本と異なり 2006 年現在も二重規制とはなっていない<sup>8</sup>。

### 【事故内容】

- (1) 事故日時 : 1998. 11. 9, 02:00 ~ 03:00 と推定
- (2) 事故報告 : 1998. 11. 9 (月曜日)、11:00 に科学技術部 (放射線安全) 及び原子力安全技術院 (放射性物質規制室)
- (3) 盗難された RI の内容  
Cs-137 : 17 個 (2GBq×2 個、1. 6GBq×3 個、1. 1GBq×12 個 : 計 22GBq)  
Ir-192 : 12 個 (2. 3GBq)  
廃棄施設に貯蔵中の治療使用後で減衰した RI : 180 個
- (4) 探索
  - 1) マスコミへの報道要請 : マスコミへ 1998. 11. 9 に緊急報道要請。RI 盗難の事実をテレビ局 3 社及び日刊新聞がいっせいにトップニュースで報道。
  - 2) 病院での探索、患者の自宅に訪問しての探索 : 線源は発見できず
- (5) 発見経緯 : 通報者の夫が盗難の翌日の朝 8:30 に乗用車で出勤。後部座席に同乗していた妻が途中で座席のカバーシートの中に不審物があるのに気付き取り出した。広げてみると、彼女が以前に原子力病院で看護師をしていた当時見たことのあるアプリケーションで RI の標識もあることから放射性物質であることを認知。彼女は前日夕方にテレビニュースで、病院から RI が盗まれたことを知っていた。今、自分が持っているのが盗難にあった RI であることに気づき、放射線被曝が気になりになると同時に、盗難物である事実が恐ろしくなった。

運転している夫に説明し、夫は15分程度運転を続けた後、小学校近辺で車両を停止。彼女は座席のカバーシート入っている物をすべて持ち出し、2回にわけてこれを近所の草むらに捨てた。再び乗用車に乗り、夫が職場まで運転した。その後妻が運転し帰宅した。帰宅後、妻は警察に通報した。

(6) 盗難 RI の確認と回収：通報を受け、警察官や行政機関の職員が線源を確認。線源は1次（小学校脇草むら）、2次（乗用車内）、3次（1次と同じ場所で作業し1次で回収できなかった Ir-192 を回収）に分けて行われその日の内に全て回収された。

(7) 盗難当時の RI 管理状況：事故機関では、1988.9.29にも RI を紛失していた。その時に、RI 貯蔵施設の鍵管理の不適切さが明るみにでたことから、行政機関は放射線治療室及び RI 貯蔵施設の出入統制のための監視モニター設置、RI の出入時に責任所在を明確にするための署名を再発防止対策として勧告していた。

(9) 汚染及び被ばく状況：

1) 汚染：RI と接触した盗難の犯人、及び1次回収地点と2次回収地点（通報者の乗用車）における測定で RI の漏洩による汚染はなかった。

2) 放射線被ばくの推定方法：Cs-137 は車両に散らばっていたため、正確な位置が確認できず平均的な状態を仮定した。Ir-192 は1バイアル中に12個の RI があり合計した。廃棄 RI は放射線量がほとんどないため無視した。

車両の運行時間は、夫の場合 1998.10.9 に40分間は全量で搭乗。1998.11.10 に20分間も全量で搭乗、そのうち5分間は一部

の RI を廃棄して、Cs-137 が10個ある状態で搭乗とした。

RI の位置は、車両内の RI から運転席及び助手席に座った場合の距離を計測した。運転席に座った場合は以下になる。

運転席の座席下： 20cm (Cs-137、7個)

運転席の背後と後ポケット： 20cm (Cs-137、7個及び Ir-192、12個)

運転席の後部座席の前： 30cm (Cs-137、1個)

助手席： 60cm (Cs-137、1個)

線量推計結果：通報者である妻は RI を全量のをせて20分搭乗し、一部の RI をのをせて更に20分搭乗したため、予想被ばく線量は実効線量として約10mSvとなった。夫は RI を全量のをせて40分搭乗し、更に翌日全量のをせて20分搭乗したため、予想の被ばく線量は約50mSvとなった。

この結果、危険度の評価は、一連の被ばくによる急性の影響はなく、被ばくによるがんの発生推計率は  $2.5 \times 10^{-3}$  となった。がんの自然発生率0.2と比較してみると、過剰相対リスクは約1.25%となる。盗難犯は盗難時に貯蔵室に進入して RI を窃盗し、運搬過程で遮蔽措置をとらなかったため、より多くの被ばくを受けたと考えられる。1998.11.11、9:30 に警察署で血液採取し、RI 窃盗及び運搬における被ばくの影響検査がおこなわれたが、放射線の影響を検出できなかった。

(10) 原子力法違反内容

1) 事故機関（原子力病院）

科学技術部長官に承認を受けた安全管理の規定第11条第11号では保存容器として子宮がん治療用セシウム RI の運搬用容器

の設置とあるが、設置していなかった（安全管理規定違反（法第 70 条））。

放射線管理区域には一般人の出入を制限し、他の従事者や一般人の出入の際は管理責任者または従事者の許可が必要であった。しかし実際にはいつも開放していて防護措置はなく、一般人を出入させていた（放射線管理区域出入者管理不足（法第 71 条））。

RI 及び放射線発生装置の使用、分配、貯蔵、廃棄に対しては、規定第 115 号により安全管理に関する記録の作成が必要であった。しかし一部の密封線源について記録がなかった（記録管理不足（法第 69 条））。

線源の利用者は、放射線障害の恐れのある使用場所、貯蔵施設及び放射線区域の境界について毎週及び作業後に線量を測定することになっている。しかし、放射線腫瘍治療時や作業後に線量を測定していなかった（放射線量率の測定不足（法第 97 条第 1 項））。

従事者及び放射線区域の出入者に対し、放射線障害防御に必要な措置をとらず、放射線安全管理者の義務に違反した（安全管理責任者義務怠慢（法第 73 条第 1 項））。

## 2) 窃盗犯

RI 等の無断所持（法第 99 条第 2 項）

RI 等を不当な目的に使用（法第 115 条）

警察では刑法上殺人未遂容疑、特殊窃盗罪も適用

### 【事例のまとめ】

#### (1) 事故原因及び問題点

- ・事件は、内部職員の女性問題による計画的な犯行であった。
- ・原子力病院の全般的な施設の警備不備が事故防止の妨げとなった。病院は、人々の

出入が多いにもかかわらず、職務者及び当直者 2 名の周期的な巡察に依存していた。特に夜間の警備は経費削減のため保安が不十分であった。放射線区域境界に対する出入の統制を効果的におこなわなかった。

#### (2) 事故再発防止対策

現行の原子力法では、RI の貯蔵施設や保管に関する基準が規定されている。しかし、放射線管理区域の一般人の出入制限の方法などが機関の特性別に具体的に提示されていない。治療施設は患者が頻繁に出入するため、患者家族や内部職員などの出入を統制することが難しい現状にある。RI を使用する機関は、テロ、盗難、火災等に対し、施設全体の保安を検討しているが、セキュリティには手が回らず放射線安全管理面についてのみ考慮しているのが現状である。

#### (3) マスコミによる主要論題事項

RI を保存する地下貯蔵室の出入口に鍵を閉める等の管理を疎かにし、特に週末から休日には担当者が一度も点検しなかった。

（朝鮮日報、コリアヘラルド等）

緊急捜索作業をおこなっているにもかかわらず、患者や来客にセシウム 137 が人体に及ぼす影響を知らせなかった。（朝鮮日報）

RI 貯蔵室に自動警報装置や閉鎖回路、監視カメラなどを設置せず、管理がずさんであった。また、RI 廃棄物も特別に貯蔵せず、移動用の簡素な容器で保存し、管理が不十分であった。（韓国日報、京郷新聞）

#### (4) 今後の対策推進計画

1. RI を使用、廃棄する業務に対する特別な安全点検を、大型総合病院

- 12 箇所及び非破壊検査の専門業者 35 箇所に対し、実施する。RI の保有現状、取り扱い従事者の管理状況、放射線管理区域への出入の管理状況、使用及び貯蔵施設の保安管理実態を把握する。
2. 密封の RI 等を使用する機関の施設に対して、具体的な保安システムを備えるように、原子力法に反映することを検討する。
  3. RI の貯蔵施設に警報システムの導入を検討する。特に人の出入が多く、RI の搬入口が多い機関（病院、非破壊検査機関）は、警備担当者ひとりによる安全管理者制度ではなく、別途の専門の安全管理組織体制等を備えることを検討する。
  4. 原子力法の保安に関して規定されているところに、今回の事例の掲載を検討する。
  5. 廃棄 RI の集中管理を誘導する。全国に散在した RI の使用機関から、保有している不必要な廃棄 RI を早急に一括して収集し（RI 協会）、放射性廃棄物管理の専門機関（韓伝原子力環境管理センター）の貯蔵庫に集中管理することによって、保有している RI を最小化する。
  6. 危険度が高い機関の事業者及び放射線安全管理責任者に対する放射線安全の特別教育を実施する。
- (5) 行政措置
- 1) 事業者に対する措置  
原子力病院に対して法令の適用を検討し、住民感情に対する措置をおこなう。また、放射線安全管理者に対しては解任措置をおこなう。
  - 2) 窃盗犯に対する措置  
原子力法罰則を適用する。

謝辞：本事例について韓国食品医薬品安全処の李昌炯博士にご教示頂いた。

<sup>1</sup>本間 正人、辺見 弘. 【特殊災害】 NBC 災害における病院施設面の対策. プレホスピタル・ケア. 14(6), 15-19,(2001)

<sup>2</sup>鈴木 元. 健康危機発生時の行政対応 医療側からの要望 原子力災害. 公衆衛生. 70(3), 192-194,(2006)

<sup>3</sup> 鈴木元. 放射能テロ・ダーティ爆弾. 医療放射線防護. 46, 39-42,2006

<sup>4</sup> <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/bougo/siryo/bougo04/siryo4-4.pdf>

<sup>5</sup> 鈴木元. ダーティ爆弾に対する国民保護法訓練の課題. 保健物理. 45(2),127-130,2010.

<sup>6</sup> Alex Romanyukha, François Trompier, Ricardo A. Reyes. Q-band electron paramagnetic resonance dosimetry in tooth enamel: biopsy procedure and determination of dose detection limit. Radiation and Environmental Biophysics. 2014 DOI10.1007/s00411-013-0511-8

<sup>7</sup> Carter H, Drury J, Rubin GJ, Williams R, Amlot R. Public experiences of mass casualty decontamination. Biosecur Bioterror.10(3),280-9,2012

<sup>8</sup> 李昌炯. 韓国における医療放射線安全管理行政. Isotope News. No.617,12-15,2005

## 東京都感染症発生動向調査を用いたサーベイランス解析と視覚化の検討

研究分担者 高橋邦彦 名古屋大学大学院医学系研究科准教授

研究分担者 灘岡陽子 東京都健康安全研究センター健康危機管理情報課長

研究協力者 杉下由行 東京都健康安全研究センター疫学情報担当課長

研究要旨：地域における突発的・集中的な健康危機事象の発生をいち早く検出するための症候サーベイランスとして、米国などでは実際いくつかのシステムが稼働し運用されている。その解析として空間疫学における疾病集積性の検定の方法が利用されている。本研究では東京都感染症発生動向調査データによるインフルエンザ流行を例として、FlexScan法による解析とGISによる結果の視覚化を行い、サーベイランス解析の検討を行った。

### A. 研究目的

地域における突発的・集中的な健康危機事象の発生をいち早く検出するための症候サーベイランスは国内外で重要な課題となっており、諸外国においては様々な検討が行われている。その中でも客観的な判断を下すための統計解析は大変重要な要素であり、実際いくつかの都市では統計解析を含めたシステムが稼働し運用されている（NYC-DOHMH system, ESSENCEなど）。その解析として空間疫学における疾病集積性の検定の方法が利用され、上記システムなどではKulldorff博士の提案・開発する手法とソフトウェアSaTScanが利用されている。一方、Tango and Takahashi (2005) の開発する集積性検出の手法flexible scan statisticとそれを組み込んだソフトウェアFlexScan (Takahashi, Yokoyama and Tango, 2005-) もGISや空間疫学の分野で世界的に注目されてきており、最近では海外の専門書 (Pfeiffer et al. “Spatial Analysis in Epidemiology”, Shekhar et al. “Encyclopedia of GIS” など) にも取り上げられ実際の疫学研究でも利用されている。さらに現在のニ

ューヨーク市保健局 (NYC-DOHMH) のGISセンターにおいて利用する手法の一つとしてFlexScanが挙げられて、webページにもその記載が行われている (<http://www.nyc.gov/html/doh/html/epi/giscenter.shtml>)。このように米国などでは集積性の検定による解析を含んだサーベイランスシステムがすでに運用されているが、我が国においてはまだそのようなシステムは確立していない。本研究では、地方衛生研究所での利用の検討として感染症発生動向調査の実際のデータを用い、集積性の検定による解析を含めたサーベイランス解析を試み、国内における健康危機事象の迅速な対応に有効なシステム、ならびにその結果の示し方としてのGISによる視覚化について検討する。

### B. 研究方法

東京都感染症発生動向調査のインフルエンザ定点報告データを用いて、NHC-DOHMHと同様なインフルエンザ発生のサーベイランス解析を行う。定点報告数を保健所管轄で集計し、保健所管轄を単位とした集積性の検定によるサーベイ

ランス解析を行い、初期の発生、ならびにその後の流行の推移の様子を観察する。なお本解析では、各地域のベースライン値は直近3週間の報告数の平均値とし、統計量として制限付尤度を用いて解析を行い、その有意性の基準とする有意水準は0.20 (=1/50週)を用いた。解析期間は

- ・2006～2007年シーズン
- ・2008～2009年シーズン

の2つの期間を実施した。特に2008～2009年シーズンではパンデミックインフルエンザ発生時期を含む18週（2009年4月27日～5月3日）の時期からの解析も行った。

### C. 結果

東京都で報告された2007年1週～2012年30週のインフルエンザの定点あたり報告数を図示した（図①）。ただしここでの定点数は各週の報告があった定点数ではなく、登録された全定点数を用いた。2007～2008年シーズンは報告が少なく、また2009年はパンデミックインフルエンザの発生もあり、夏季から年末にかけての報告が多い様子が見られた。

2006～2007年シーズンのサーベイランス解析では、2006年中は報告数が少なく、有意な集積も見られなかった（図②）。2007年3週より有意な集積が発見された。その推移の様子をGISによって視覚的に示した。地図において色が塗られた地域は検出された有意な集積地域であり、その中での報告数とベースラインとなる期待頻度に対する相対危険度を示した。なお上記方法に記載のとおり、各地域のベースライン値を直近3週間の報告の平均としていることから、ここで検出される集積は単純な発生数の集積ではなく、直近3週より急激な増加がみられる地域として検出されている。流行の始まりは大田区であったが、2007年4週や7週のように、都西部地域での集積が見られた翌週に、都全体の報告数がそれまでよりも急激に増加している様子が観察された。その後18週には集積地域が検出されたが、16週以降はそれ以外の集積が検出されなかったことから、この段階でほぼ流行

が収束してきていると考えられた。

2008～2009年についても同様の解析を行った。このシーズンでは多摩小平・多摩府中での集積が2008年46週に観察され、その後継続的に集積地域が検出された（図③-1）。ここでは5週までの地図のみを示しているが、実際には定点あたり件数のグラフでも観察できるとおり、11週以降報告数は減少していったが、集積性の検定による解析では、その後もしばらく継続的に集積地域が検出されていた。この年はパンデミックインフルエンザの流行があった時期であることから、18週以降の集積についてもGISによる図を示した（図③-2）。18週、19週、20週に都心部で集積が認められたものの、21～25週は集積が検出されず、26週に小さな集積が認められたものの、その後30週までは有意な集積は検出されなかった。

### D. 考察

インフルエンザの定点報告（感染症発生動向調査）については、そもそも一部の医療機関からのデータであることもあり、特に都道府県単位よりも細かな地域的な発生状況把握についてこれまで必ずしも有効的な解析が行われているとはいえない状況である。本研究で用いた集積性の検定によるサーベイランスでは、今回のような純粋な報告数の定常的観測報告にも適用することが可能であり、また個々の機関の発生状況把握だけではなく隣接地域との相関も考慮した解析を行うことができ、実際米国のいくつかのサーベイランスシステムでも同種の手法が組み込まれ日々解析が行われている。今回、我が国での感染症対策を取る上でも有効な保健所管轄で集計することで初期の発生地域の同定ならびに流行の推移を観測することができた。本研究では2006～2007年シーズン、ならびに2008～2009年シーズンの解析を行った。この2つのシーズンの流行については共通のパターンは見いだされなかった。他シーズンについても解析を試みているが、流行初期に都心部での集中が観測された後、西部地域にその中心が広がりをみせ、その後東京都全体での報告数が大幅に増加

している傾向が見られるシーズンもあったが、それとは異なるパターンを示す年も見られている。

2009年には季節性インフルエンザ流行の収束に引き続きパンデミックインフルエンザの発生時期があった。本解析のデータは定点からのインフルエンザ報告数ではあるが、この年は小規模ながらも例年よりも長く5月前半まで流行が続いていた様子がかがえた。特に本解析では直近3週間より増加する集積を検出しているが、その地域が週毎に変化している様子を見ることができた。

流行発生状況や推移を観察するためには、単なる数値や表だけではなく、本研究で行ったようにGISによる視覚化を行うことで、全体の様子が明快に把握できるようになる。これらの結果を視覚的に観察することで、新たな仮説生成や対策を取る際の有効なツールになると考えられる。本研究では東京都のインフルエンザを例として検討を行ったが、東京都では2011年より大幅にインフルエンザ定点数を増加させ、より詳細なサーベイランス体制を整えることを目指している。本研究で用いたサーベイランス解析を含めた高度な統計解析や、GISによる視覚化を利用することは、現状で収集されているデータの活用につなげることができ、今後のサーベイランスシステムにとっても有効なものになるであろう。今後、他のシーズンや、他の感染症についての解析、さらに他の地域での解析、検討を行い、感染症を含む健康危機事象に対して、適切な解析とその視覚化も含んだサーベイランスシステムの構築、運用の議論を行うことが重要である。

## E. 結論

本研究では、我々が提案する手法とツールを実際に自治体で活用できるデータに適用することで、より有効的なサーベイランス解析が出来ることが期待される。今後、手法の理論的改良、利用者のニーズに答える利用しやすいツールの提供とその適用事例の紹介、検討を有機的に継続して行っていくことが重要である。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

なし

### 2. 学会発表

- 高橋邦彦. データの有効な視覚化と統計解析. 第72回日本公衆衛生学会総会メインシンポジウム1「災害時や危機管理におけるビッグデータの形成とその利活用」. 三重県総合文化センター, 2013年10月23日.

### 3. 著書

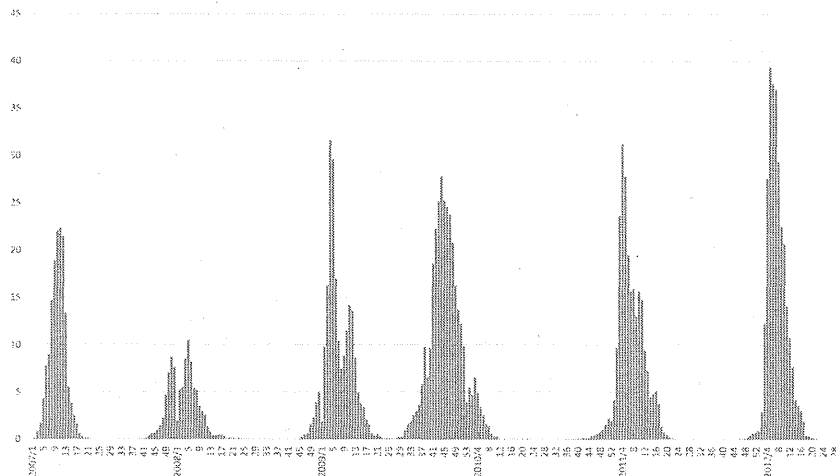
なし

## G. 知的所有権の取得状況

なし



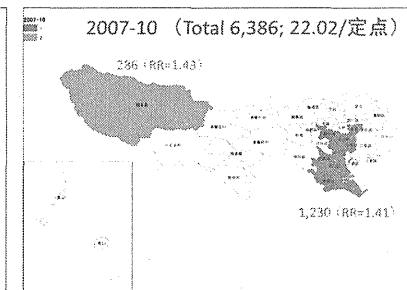
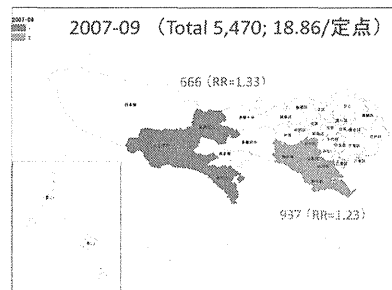
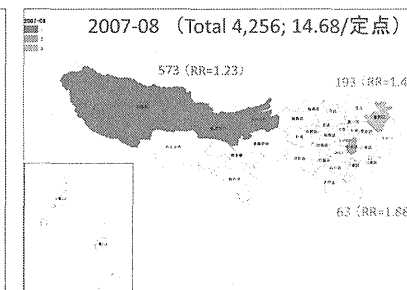
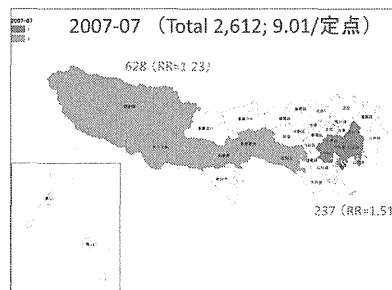
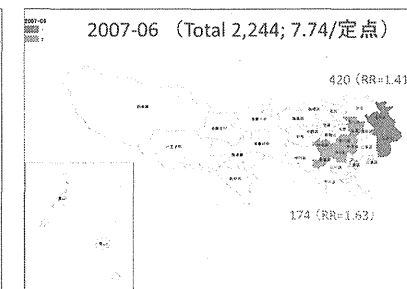
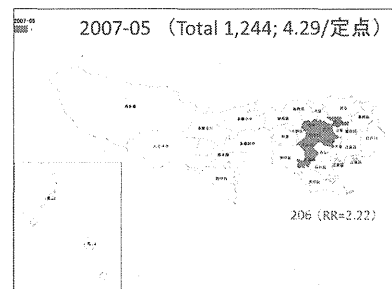
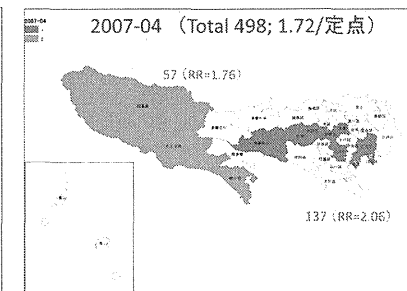
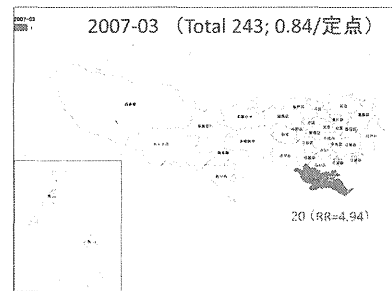
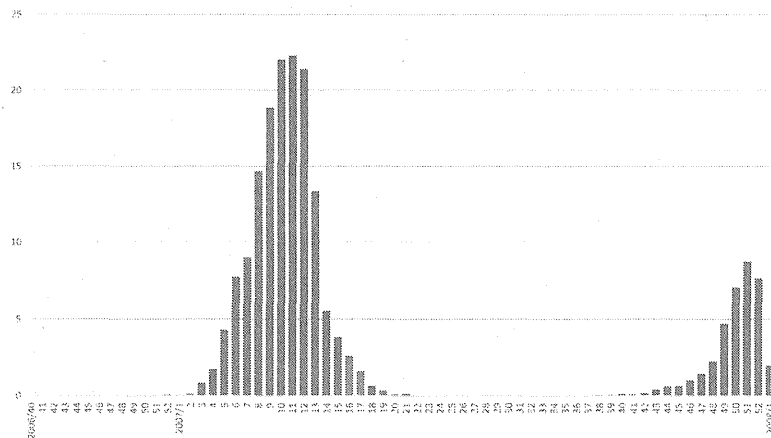
① 2007年第1週-2012年30週 インフルエンザ(東京都) 定点あたり件数

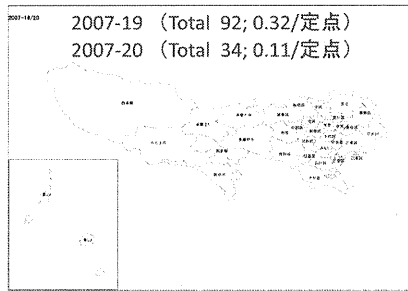
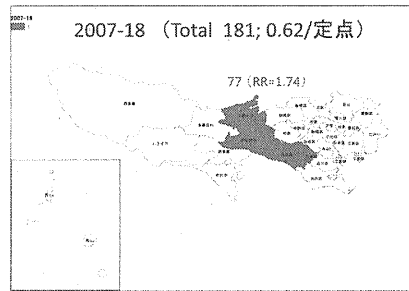
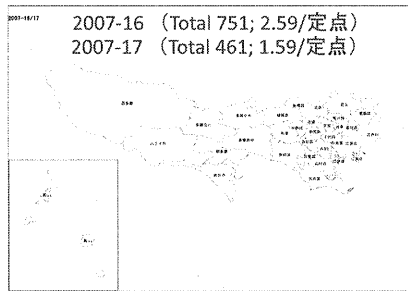
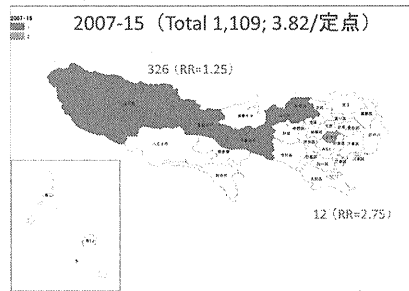
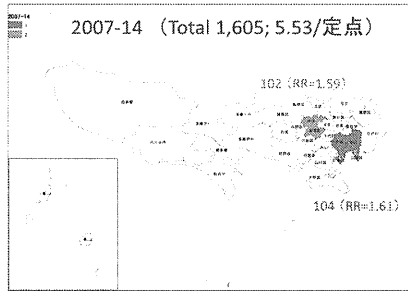
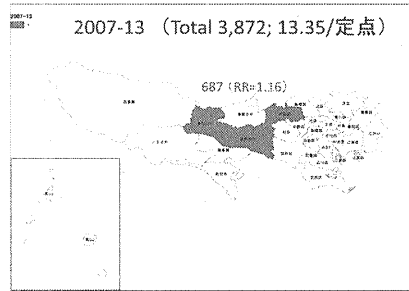
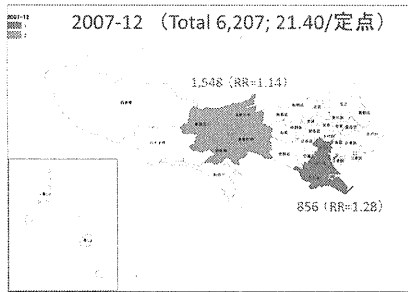
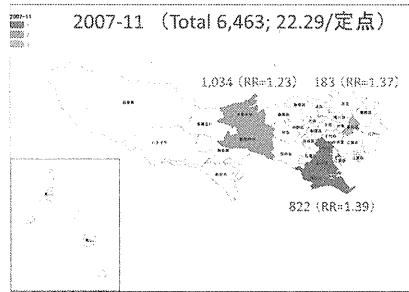


② 2006～2007年シーズン

- 2006年は17週以降、有意な集積はなし
- 2007年3週よりインフルエンザが流行

2006年40週～2008年1週 定点あたり件数

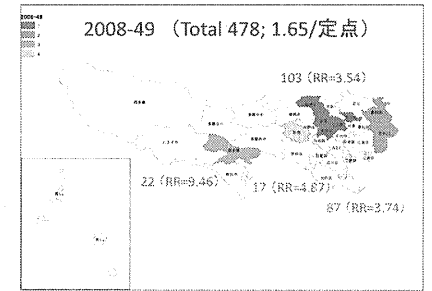
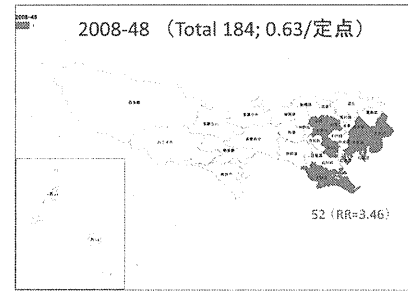
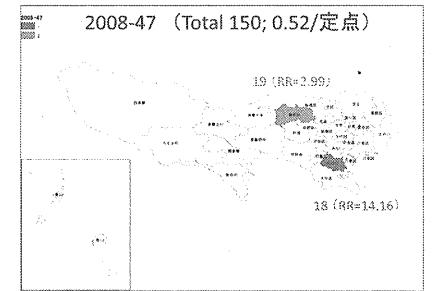
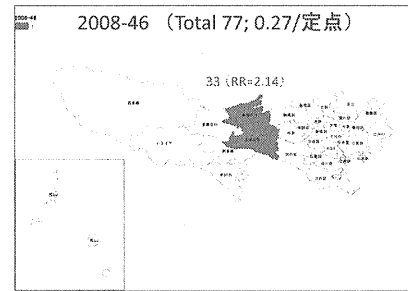
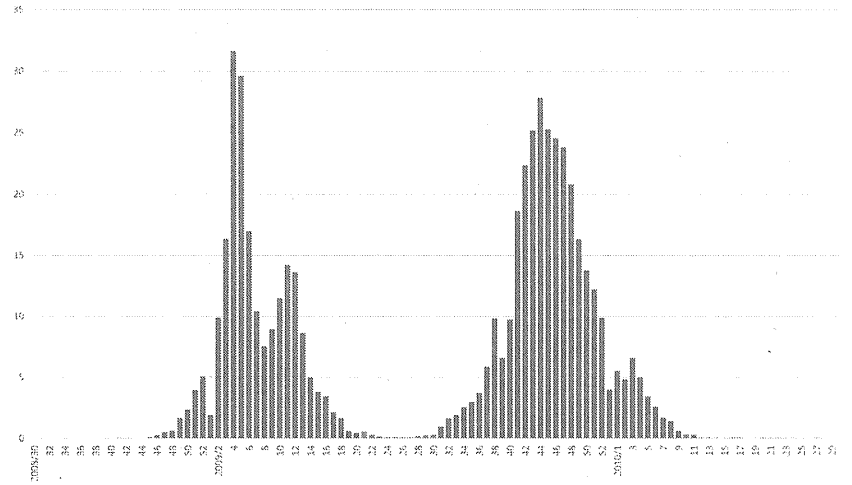


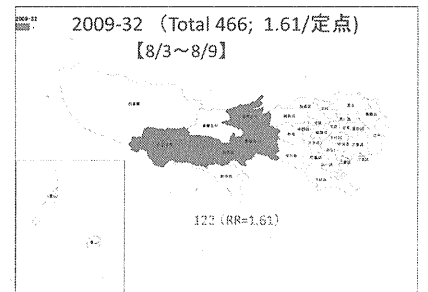
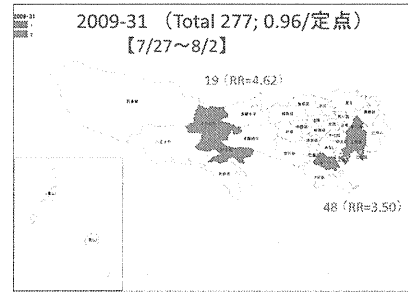
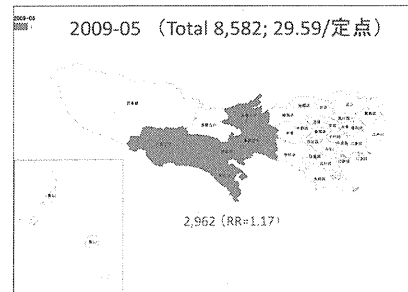
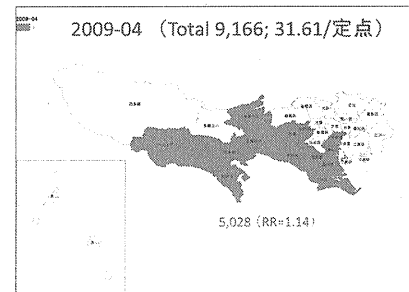
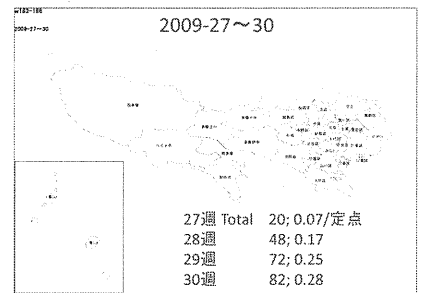
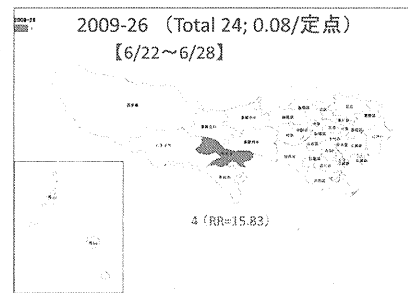
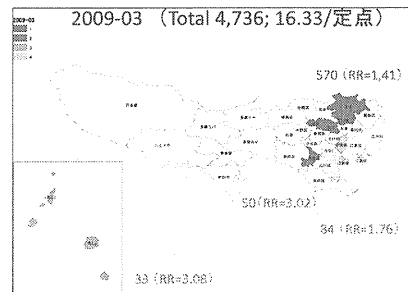
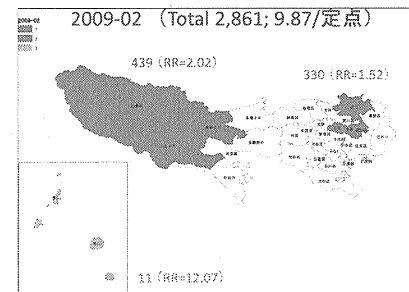
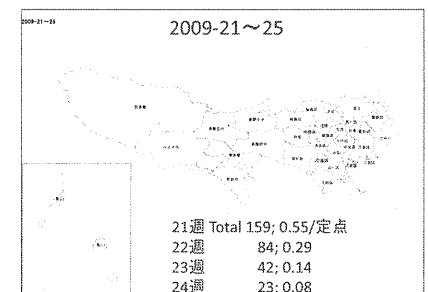
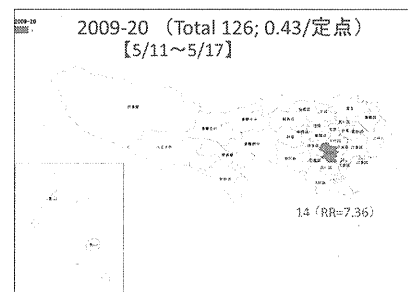
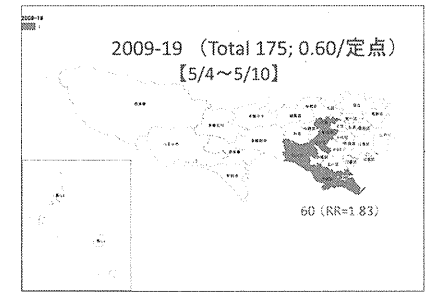
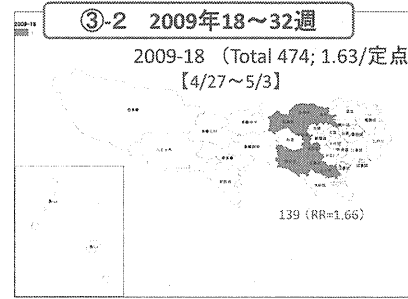
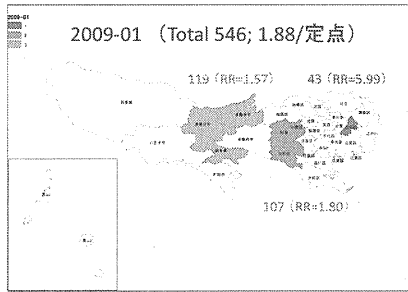
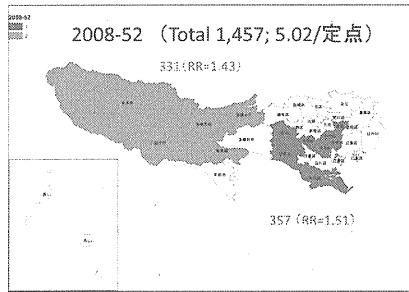
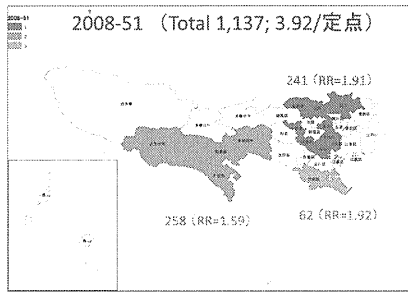
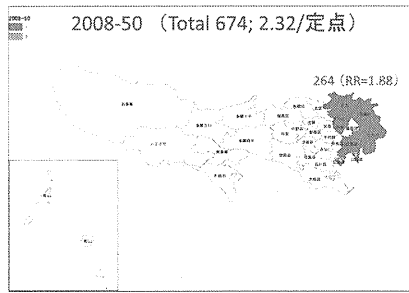


③-1 2008～2009年シーズン

■ 2008年46週に有意な集積

2008年30週～2010年30週 定点あたり件数





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）  
CBRNE事態における公衆衛生対応に関する研究  
平成25年度分担研究報告書

「CBRNEテロ対策に関する保健医療ネットワークの構築（近畿圏）」に関する研究

研究分担者 高橋 和郎  
大阪府立公衆衛生研究所

研究要旨 地方衛生研究所は感染症健康危機事象発生に対して、迅速な監視の責務を負う。今年度は地方衛生研究所感染症情報センター担当者を対象として、GISソフトを用いた感染症発生状況のより明快な解析、発信方法に関する講習会を開催することにより、感染症健康危機事象に対する監視技術の向上が期待された。

#### A. 研究目的

今年度は CBRNE 関連物質、特にインフルエンザウイルスなどの感染性病原微生物が撒布され、その感染症が発生、伝播拡大することを想定し、それに対して地方衛生研究所が危機管理上、その拡大を早期にかつ十分に感知するために、常時とるべき監視対策を策定することを目標とした。その一対策法として感染症の発生状況を地図上に可視化することにより流行拡大を有効に把握することが可能か否か検討するために、GIS(Geographic information system)ソフトを用いた感染症発生状況の解析方法の習得を目的とした。

#### B. 研究方法

今年度は上記目的のため、地方衛生研究所の感染症情報センター担当者を対象に GIS ソフトを用いた感染症発生状況の解析方法に関する講演会を行い、その理解を深める研修を行った。

#### C. 研究結果

行った講演会の概要を以下に記す。

日程 平成 26 年 2 月 24 日（月）16 時より

場所：大阪府立公衆衛生研究所 講堂

演題：地図情報システム（GIS）を用いた  
感染症の流行状況の可視化とその公  
衆衛生対策への応用

講師：名古屋大学大学院医学系研究科  
臨床医薬学講座生物統計学分野  
准教授 高橋 邦彦氏

講演会参加者は長野県、福井県から西は福岡県、高知県に所在する計 25 か所の地方衛生研究所の感染症情報センター担当者計 48 名が出席した。講演内容は GIS,特に FlexScan ソフトを用いた感染症発生状況の地図上への可視化について詳細に解説された。たとえば、例としてインフルエンザの学校欠席サーベイランス、東京都の感染症発生動向調査におけるインフルエンザサーベイランスのデータを用いて地図上に可視化する方法を具体的に解説され、さらに、健康危機事象発生時に利用する方策について説明された。講演後の質疑応答では、参加した一部の地方衛生研究所で、すでにホームページへこのような感染症発生状況を地図上に可視化している研究所もあり、活発な質疑応答がなされた。

## D 考察

今回の講演会では、近畿圏を中心とした 25 か所もの地方衛生研究所から 48 名の担当者が参加し、特に GIS ソフトを用いた感染症危機管理対策法に関して見識を深めることができ、今後各地方衛生研究所 感染症情報センターにおいて、これらの手法が導入されれば、感染症発生動向調査データなどを可視化することにより、より明快な解析が可能となり、さらに感染症危機事象の発生に対しても有益な一対策法となると考えられた。

## F. 健康危険情報

## G. 研究発表

1. 論文発表  
なし
2. 学会発表  
なし

CBRNE事態における公衆衛生対応に関する研究  
研究成果（書籍）の刊行に関する一覧

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年 ※H25年度	ページ	GRANTへの謝辞の有無
Masayuki Ishinishi, Manabu Ichikawa, Hideki Tanuma, Hiroshi Deguchi, and Yasuhiro Kanatani	The Effects of Vaccination Strategies Against Smallpox Bioterrorism with Agent-Based Simulation	T. Murata	Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems VII	Springer Japan	Tokyo	2013	131-145	無

# The Effects of Vaccination Strategies Against Smallpox Bioterrorism with Agent-Based Simulation

Masayuki Ishinishi, Manabu Ichikawa, Hideki Tanuma, Hiroshi Deguchi,  
and Yasuhiro Kanatani

**Abstract** This chapter aims to estimate the extent of damage in the case of an outbreak of smallpox terrorism, based on agent-based modeling. The purpose of this study is also to discuss effects of social protection policies, such as vaccination and quarantine. The authors developed a smallpox epidemic terrorism simulation using SOARS. The simulation assumes exposure of smallpox virus in a city with a population of 10,000. The results of the simulation show (1) The implementation of early school closure and vaccination significantly reduces the number of infected persons despite the limited amount of vaccine supply; (2) vaccination is a method to acquire immunity for younger (non-immune) generations; thus, the difference in vaccination strategy influences the trend of outbreak among patients; (3) if the school closure and vaccination are delayed more than 20 days, the effect of suppressing the spread of infection falls.

**Keywords** Bioterrorism • Vaccination strategies • School closure • SOARS

---

M. Ishinishi (✉)  
Ministry of Defense, Tokyo, Japan  
e-mail: ishinishi@fw.ipsj.or.jp

M. Ichikawa • H. Tanuma • H. Deguchi  
Department of Computational Intelligence and Systems Science, Interdisciplinary Graduate  
School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology  
e-mail: ichikawa@dis.titech.ac.jp; tanuma@cabsss.titech.ac.jp; deguchi@dis.titech.ac.jp

Y. Kanatani  
National Institute of Public Health, Saitama, Japan  
e-mail: ykanatani@niph.go.jp

T. Murata et al. (eds.), *Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems VII: Post-Proceedings of The AESCS International Workshop 2012*, Agent-Based Social Systems 10, DOI 10.1007/978-4-431-54279-7\_10, © Springer Japan 2013

131

**Table 1** Vaccination coverage

Groups	Numbers	Percentage	
		of vaccination	Not vaccinated
After 1976	3,740	0	3,740
1969–1975	1,330	61	519
1962–1969	1,142	69	354
Before 1961	6,400	92	512

## 1 Introduction

In recent years, the intentional spread of biological weapons, including bacteria and viruses, has indicated the potential threat of bioterrorism to cause serious damage. Particularly, since the eradication of smallpox in 1976, routine vaccination against smallpox has been discontinued; consequently, 40% of the total population has no immunity to the smallpox virus. Table 1 shows the results of the vaccination coverage survey investigated by Saito et al. [1]. We know that the generation born since 1976 would be completely susceptible because they would not have had any vaccination. Thus, an intentional release of smallpox could be a threat as a biological weapon, and smallpox terrorism is considered to have the potential to cause serious damage [2]. It takes a long time to observe and confirm the symptoms after acts of terrorism using spraying. In fact, if the countermeasures against contact between susceptible persons and those infected are delayed, the infection can spread serious damage despite starting with only a small amount. There is a social vulnerability of outbreak in the population in the case of the deliberate release of smallpox virus. Therefore, the threat of bioterrorism is also increasing, and social protection policies are required. In particular, it is necessary to keep an international stock of vaccine, based on the anticipated potential for damage.

To analyze the infection and contamination process, a number of mathematical modeling studies have been reported in recent years. While most of the studies have attempted to examine the dynamics of the spread between patients and countermeasures, the modeling and results are too simplistic to be applied to real policy making [3]. The authors introduce agent-based modeling to achieve the following objectives: examine the effects of quarantine, such as school closure, and vaccination policies, including the amount of vaccine supply, deadlines for vaccination, and the range of vaccination targets, as countermeasures against bioterrorism using smallpox.

The authors also consider the social structure, age distribution, and human activity to describe dynamic interactions between agents. In the model, a spot-oriented model is employed.



## 2 Methods

### 2.1 *Agent-Based Model*

This research aims to examine control measures that could minimize the damage from the spread and development of smallpox within the social structures in operational aspects. To analyze the infection and contamination process(es), there are several types of mathematical and simulation models. Most mathematical models that have been generated to describe the epidemic process of infectious disease have adopted a multiple nonlinear differential equation named the SIR model. Since the SIR model has a long history and a variety of applications, it has become established as a fundamental concept in the field of public health.

This study reports the results from the analysis of the spreading phenomenon of smallpox patients through simulation using the agent-based approach to describe the interaction between patients in social activities. The agent-based approach is sometimes called the individual approach. The approach has two types of models: the cell-based model and the network-type model. The cell-based model is basic and intuitive and has been widely used, for example, the effectiveness of “Oseltamivir (Tamiflu)” against the emerging influenza pandemic in Southeast Asia. The authors employed a spot-oriented agent role simulator (SOARS), which uses the network-type model for the analysis of the agents’ state, behavior, and interactions and the effects of control measures [4].

### 2.2 *SOARS*

SOARS was initially developed as a software system for agent-based social simulation. SOARS has three advantages. First, it is not connected to a physical location of interaction between agents. Second, it is able to represent an agent’s behavior relative to the state of the agent’s role. Third, in the representation of time transition, it is able to distinguish between the state transition of agents, the behavior of each agent, and the interaction between agents. In SOARS, the social system is described as an aggregate of several modeling components, i.e., “agent,” “spot,” “role,” and “rule.” The spot and the role are specific concepts, and, in particular, the spot represents not only a concrete physical place but also an abstract place for interaction between agents. Agents move between spots. Each spot and each agent have a state that is described by equipped attributes. The agent and the spot have several attributes that express the state condition. The attribute of the agent includes two special members that represent the current spot and current role, to which the agent acts based on related rules. The rules affect the attributes of the agent and spots.

The role expresses a type of action for the agents, such as an occupation or physical condition. All of the agent rule actions are described related to the role, and the agent selects the role to play actions. SOARS provides a mechanism for implementing the agent in the context of social science.

The authors employed SOARS to examine the outbreak of smallpox and potential countermeasures.

### 3 Modeling and Formulation

Five models were used to describe the agent-based social simulation in this investigation. The models include (1) a disease state transition model that describes the disease transition of each agent in the case of smallpox infection, (2) a contamination and infection model that describes the infection process from infected persons to uninfected persons, (3) a social structure model that describes the population of households by age and urban structure, such as home, office, school, and transportation, (4) a human activity model that describes the inhabitants' daily social behavior in chronological order, and (5) an intervention that describes countermeasures against infection increase, such as quarantine (school closure) and vaccination [5, 6].

#### 3.1 States of Agents (*Agent Disease Stage*)

An individual-based stochastic model of influenza transmission was proposed by Wu et al. [7]. The authors derived key parameters, in reference to the natural history and epidemiology of smallpox, using examples from the model proposed by Wu et al. There are widespread variations in the disease stage period of smallpox from many reports [8–10]. The authors then assumed that the set mean time for the stages of smallpox would be as follows: incubation, 10 days; prodrome, 4 days; rash and scab formation, 3 days; and recovery or death, 7 days [11].

When an  $i$ th agent is supposed, the agent disease stage  $ADS(i)$  is divided into eight parts, as shown in Fig. 1. The transition probabilities between stages are also defined as shown in Fig. 1.

#### 3.2 Contamination and Infection Model

The authors introduce several types of virus protection policies in their contamination and infection model. The model employs an indirect process, including contamination from human to spot and infection from spot to human. The process is divided into excretion of virus by an agent, contamination of a spot, contamination

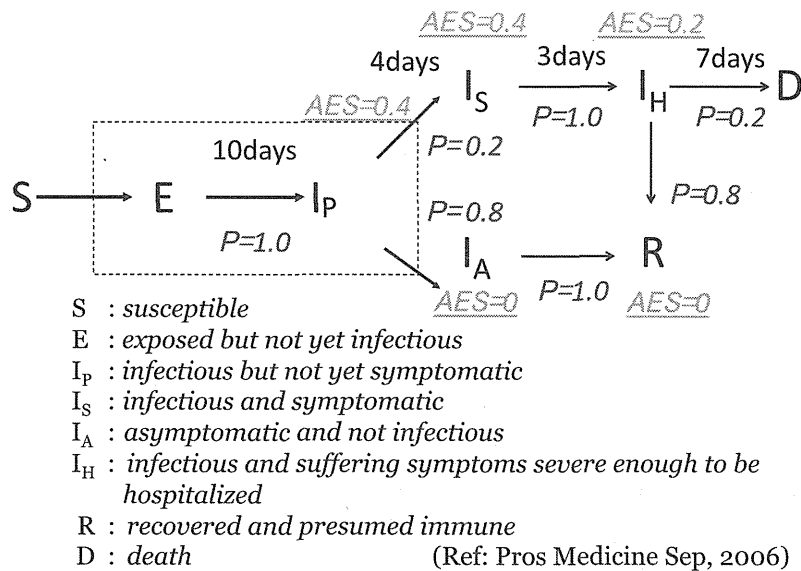


Fig. 1 Agent's disease state transition

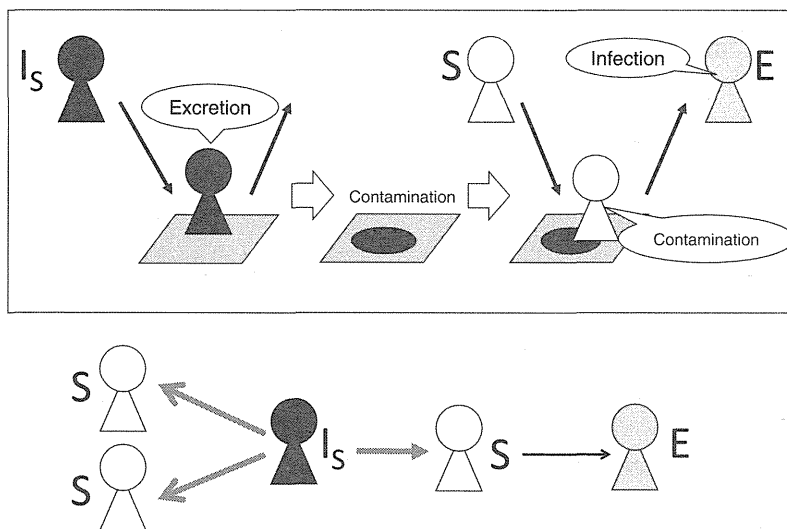


Fig. 2 The infection process

of the agent, and infection of the agent. The excretion of virus by the agent is shown in Fig. 2, depending on the agent's disease stage. The contamination of a spot is determined by the sum of the decayed prior contamination of the spot and current contamination by virus that is excreted by an infected agent who resides at the location. The contamination of the agent is determined by the sum of the decayed prior contamination of the agent and the current hazard level of the agent who resides in the spot. The infection of the agent is determined by the contamination of the agent and the agent's immune level (physical condition). The model becomes equivalent to the direct infection model between agents at a given location if we omit attenuation factors.

### 3.2.1 Formulation

An  $i$ th infected agent has agent excretion scale  $AES(i, t)$  level depending on the agent disease stage  $ADS(i, t)$  at current time  $t$ . The  $i$ th agent visits a certain location such as the home, office, school, and transportation. The agent hazard level for the location  $AHL(i, t)$  is defined by the product of the agent's excretion scale and the excretion protection filter  $EPF(i)$ . The excretion protection filter indicates the effectiveness of personal protective equipment such as N95 masks.

$$AHL(i, t) = AES(i, t) \cdot EPF(i) \quad (1)$$

The total agents' hazard level on the  $k$ th spot  $AHL(k, t)$  is described as follows:

$$AHL(k, t) = \sum_{i \in Spot(k)} AHL(i, t). \quad (2)$$

The spot contamination level of the  $k$ th spot at the current time  $SCL(k, t)$  is obtained as the sum of the total hazard level of the agent at the  $k$ th spot  $AHL(k, t)$  and as the product of the spot contamination level at a previous time point  $SCL(k, t - 1)$  and the spot attenuation filter of the  $k$ th spot at a previous time point  $SAF(k, t - 1)$ . This is described as follows:

$$SCL(k, t) = AHL(k, t) + SCL(k, t - 1) \cdot SAF(k, t - 1). \quad (3)$$

The spot attenuation filter  $SAF(k, t - 1)$  is obtained as the product of the environmental spot attenuation filter  $EnSAF(k, t - 1)$  and the sterilization spot attenuation filter  $StSAF(k, t - 1)$ :

$$SAF(k, t - 1) = EnSAF(k, t - 1) \cdot StSAF(k, t - 1). \quad (4)$$

The environmental spot attenuation filter is affected by the seasonal climate changes and controlled humidity at the location. The sterilization spot attenuation filter is controlled by the sterilization of the location.

There are two types of protection policies, and a spot contamination affects agent contamination. One is called the virtual space density control, or simply the density control. The density means contact density between the agents at a spot. The density is affected by both the activity pattern and the physical space size between agents. Since the construction of an activity model is required to describe the activity pattern of agents in detail, the concept of virtual space density is introduced because of the unrealistic construction of a detailed model. The density can be evaluated in an actual social experiment. The virtual space density is an easier factor to control socially. For example, it is possible to control the virtual space density in a school classroom by leaving more space between the desks. The other protection policy is called self-contamination protection by an agent, such as wearing an N95 mask that is effective for protection against viruses.