

厚生労働科学研究費
国際健康危機管理ネットワーク強化研究
事業

生物テロに向けたシミュレーションの構
築と介入効果の検討に関する研究
(H17-国際-102)

平成17年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 岡部信彦

平成18(2006)年3月

平成17年度厚生労働科学研究費国際健康危機管理ネットワーク強化研究事業
生物テロに向けたシミュレーションの構築と介入効果の検討に関する研究
(H17-国際-102)

目 次

I	総括研究報告.....	1
	岡部信彦 国立感染症研究所感染症情報センター.....	3
II	分担研究報告.....	7
1)	individual based model を用いての公衆衛生的対応能力を明示的に考慮した天然痘 対策の評価.....	9
	大日康史 国立感染症研究所感染症情報センター	
2)	individual based model を用いたパンデミック対策の評価.....	23
	大日康史 国立感染症研究所 感染症情報センター	
	前田博志 東京大学 大学院情報理工学系研究科 数理情報学専攻	
	合原一幸 東京大学 生産技術研究所	
	独立行政法人科学技術振興機構 ERATO	
	合原複雑数理モデルプロジェクト	
3)	感染症の社会シミュレーションの基本モデル.....	47
	出口 弘 東京工業大学	
	金谷泰宏 防衛医科大学校	
	兼田敏之 名古屋工業大学	
	小山友介 東京工業大学	
	市川 学 東京工業大学	
	田沼英樹 東京工業大学	

4) 人の移動を考慮した感染シミュレーションモデルの作成	59
七丈直弘 東京大学大学院情報学環	
5) 保健所におけるバイオテロリズム及び一類感染症対策の現状と課題	61
内山巖雄 京都大学大学院工学研究科	
村山留美子 京都大学大学院工学研究科	
安川良朗 同志社大学	
榎谷清太 京都大学大学院工学研究科	
6) 生物テロ（天然痘）対策に対する医療従事者の信頼度に関する基礎的調査研究 ..	101
安川文朗 同志社大学	
III 研究成果の刊行に関する一覧表	115
IV 研究成果の刊行物・別刷	119

I 総括報告

生物テロに向けたシミュレーションの構築と介入効果の検討に関する研究
(H17-国際-102)

総括報告書

主任研究者 国立感染症研究所感染症情報センター 岡部信彦

要約

目的:天然痘を用いたバイオテロに対する初期対応行動計画である天然痘対応指針を individual based model(ibm)を用いて評価する。また、そのための基礎的な資料として、都市交通の実体や、自治体、医療関係者の状況を明らかにする。

材料と方法:具体的な天然痘対策における ibm では人口1万人の保健所管轄を想定し、そのショッピングモールにおいて、天然痘の暴露を受けたと想定する。初期暴露人数、対応開始のタイミングあるいは動員される要員数毎に、追跡接種と集団接種の成績を比較する。また、ibm の現実性をあげるために国土交通省の大都市交通センサスを用いて、その構造をネットワーク的な視点からも解析を実施する。

結果:天然痘におけるモデルでは、初発曝露者数が増加すると、要員が少ない場合、追跡接種の効果が急激に低下し、要員が多い場合、追跡接種の効果は大きくは低下しない。他方で、要員数が十分に大きくてもそれに応じて患者数が抑制されるわけではないこと、集団接種の効果は初発曝露者数が増加しても、平均的には変化しないことが明らかにされた。アンケート調査においては、天然痘対応マニュアルを整備している保健所は74%とやや低かった。

考察:バイオテロ対策における対策について ibm を用いて評価したところ、追跡接種は集団接種よりも効果的であるのは、初発曝露者数が要員数+10-20名程度までで、それ以上に初発曝露者数が増えると追跡接種は事実上効果的ではない。この基準で、投入する要員数を決定することが重要となる。そのためには、迅速に曝露量を推定する統計学モデルが必要不可欠となる。

結論:ibm がバイオテロ対策の評価にとって有益であり、対策立案の基礎的なツールとして利用されるべきであると結論づけられる。また、都市交通センサスのデータを用いることが有効であることが確認された。その情報を ibm に反映させていくことが重要である。

分担研究者

出口弘 東京工業大学 教授

金谷泰宏 防衛医科大学校 助教授

七丈直弘 東京大学大学院情報学環特任助
教授

内山巖雄 京都大学大学院工学研究科教授

安川文朗 同志社大学教授

大日康史 国立感染症研究所感染症情報セ
ンター主任研究官

A. 研究目的

生物テロの危険性については、従前より指摘されているところであるが、国際的にも重要な問題として各国政府において対応が検討されているところである。特に、生物兵器としての使用が危惧されている天然痘については、数十年前に根絶された疾患であるが故に過去の資料に依存せざるを得ない。しかしながら、感染症対策を検討するうえで、種痘未接種世代、種痘禁忌とされるアレルギー疾患を有する者

の増加等の社会環境の変化を考慮する必要がある。さらに、生物テロは人を介して拡散することから、交通網が発達した現代社会では国際的な人の往来等を見落とすことが、実際に SARS 流行の際においては、我が国にも潜伏期間の患者が入国したところでありこれらの要素を加味したシミュレーションモデルの作成が急務である。米国においては、天然痘ワクチンの備蓄量を推計するにあたり、感染症伝播モデルを用いて、過去の事例に基づいた最大感染率予測をもとにコンピューターシミュレーションが実施されており、この中で、予防接種及び隔離といった対応が感染の終息に与える影響を推計している。

本研究においては、既存の感染症伝播モデルを基に、これまでの研究で明らかにされてきた「種痘接種率」、「種痘の感染予防効果」及び「種痘禁忌者に関する基礎資料」に基づき、感染者及び感染の可能性のある者の行動をある程度加味したシミュレーションモデルの構築を行う。さらに、本モデルを用いることで、(1) 施策の方法により相違することが予想されるマクロレベルでの感染者数とその終息までの期間、(2) 限定した空間におけるより詳細な感染拡大の把握(感染拡大のパターン、感染者数、終息又は施設外への発散の期間等)、(3) 天然痘テロにより想定される一般的な経済的損失の考え方の整理について明らかにし、(4) 天然痘テロによる経済的損失見積もりを算出する。また、各種の施策による被害軽減効果及び最適なリスク管理を評価可能とするシミュレーションモデルの開発を目指す。

具体的には、天然痘を用いたバイオテロに対する初期対応行動計画である天然痘対応指針を individual based model(ibm)を用いて評価する。また、バイオテロではないが同種の研究対象として新型インフルエンザも検討する。アメリカのパンデミックプランやWHOでは、パンデミックを地域封鎖で初期に封じ込めること

が検討されているが、その日本での可能性について ibm を用いて評価する。

B. 材料と方法

まず、いかなる方法でバイオテロが行われ、これに対してどのような対応手段が有効かについて既存のデータを基にシナリオを作成した。想定されるバイオテロの形態として、屋外での使用と閉鎖空間での使用を想定し、想定される関係機関の対応及びこれらを規制する因子について整理した。

具体的な天然痘対策における ibm では人口 1 万人の保健所管轄を想定し、そのショッピングモールにおいて、天然痘の暴露を想定する。初期暴露人数、対応開始のタイミングあるいは動員される要員数毎に、追跡接種と集団接種の成績を比較する。

新型インフルエンザの ibm として仮想的な人口約 90 万人の都市を想定し、そこで、学校、職場、高齢者通所施設、ショッピングモール等に徒歩あるいは電車で通い、接触し、感染し、また家庭内で感染する。公衆衛生的対応として、職場、学校、幼稚園、高齢者通所施設の閉鎖、通勤電車の運行停止、地域封鎖を検討する。

他方で、ibm の現実性をあげるために鉄道による人の移動の実データ(国土交通省「大都市交通センサス」)を用いて、その構造をネットワーク的な視点から解析する。また、開発中の SOARS(Spot Oriented Agent Role Simulator)を用いて、大規模感染症の総合的な対策を考えるためのモデルも検討する。このモデルは基本的に病態モジュール、感染モジュール、人間活動モジュールの三つのモジュールから構成される。第一の病態モジュールは感染症に罹患した場合の病態変化をモデル化したもので、感染症毎に異なるが、その基本構造は同型となる。感染シミュレーションのためのモデルは基本的に病態モジュール、感染モジュール

ル、人間活動モジュールの三つのモジュールから構成される。第一の病態モジュールは感染症に罹患した場合の病態変化をモデル化したもので、感染症毎に異なるが、その基本構造は同型となる。予防接種や、入院、治療が対策の基本部分となる。

第二の感染モジュールでは、エージェントがスポットと呼ばれる場を移動することを前提として、感染のプロセスをモデル化している。我々は様々な感染症に適用可能な感染モジュールを設計することを目的としている。そのため感染のプロセスを、病原体の排出、場の汚染、エージェントの汚染、エージェントの感染に分けて、その間に病原体の排出や汚染のレベルに対して幾つかのスケール概念を導入している。またここでは感染対策を六つのフィルター概念で区分して、病原体の排出抑制、場の汚染の減衰対策、場の密度の対策、エージェントの汚染防御、エージェントの汚染の減衰対策、身体的な条件によるエージェントの感染抑制の六つの次元に分けてモデル化している。

第三の人間活動モジュールは、人間の社会的活動モデルに関するもので、都市モデルや病院、学校等の組織のモデル等であり、その上で様々な年齢・性別・職業等のデモグラフィック属性を持った主体が、移動と接触を伴う社会的な活動を行うモデルである。感染したエージェントはこの人間活動モジュールが与える人工社会の上で、病原体を排出し、場を汚染させ、それにより他のエージェントが汚染され、感染するというプロセスを辿る。ここでは、エージェントの行動に対する隔離や入院、学校や事業所に対する学級閉鎖や事業所閉鎖等や道路封鎖、交通対策などのエージェントの行動制約が対策の次元に付け加わる。

また、自治体における生物テロ及び一類感染症対策の中でも主として天然痘テロの実施状況について、地域レベルで中心となつて対応する保健所を対象にアンケート調査を実施

した。また医療従事者についても調査を行った。

C. 結果

国内外の生物テロに関する文献等を踏まえ、想定されるバイオテロのシナリオの一つとして、冬期、早朝ラッシュ時に地下鉄車内で天然痘ウイルスが散布され、暴露者については、前駆期に入った段階で最寄りの医療機関を受診すると仮定。なお、一定数の症例が発生するまでは診断が確定しないとした。医療機関側の対応として、マスク等の個人予防対策は、実施されていないと設定した。予防接種は一定数の患者が出現した段階で開始され、対象は地域毎に実施されると仮定した。患者は天然痘の診断がついた時点で、指定の医療施設に收容されるものとし、患者の家族に対する移動の制限、交通機関に対する輸送人員の制限、学校閉鎖等の対応が実施されたと想定された。

天然痘におけるモデルでは、初発暴露者数が増加すると、要員が少ない場合、追跡接種の効果が急激に低下し、要員が多い場合、追跡接種の効果は大きくは低下しない。他方で、要員数が十分に大きくてもそれに応じて患者数が抑制されるわけではないこと、集団接種の効果は初発暴露者数が増加しても、平均的には変化しないことがされた。

新型インフルエンザを用いた感染症介入モデルでは、職場、学校、幼稚園、高齢者通所施設の1%基準での閉鎖は最大で15%ポイント罹患率を抑制する効果がある。通勤電車停止によって罹患率では最大5.7%ポイント低下させる効果がある。地域封鎖に必要な半径は、通勤電車での感染がない場合には90%の確率で10kmであるが、通勤電車での感染率が高率の場合には10kmでの確率が70%まで低下し、90%の確率に達するには13kmが必要となる。

SOARSを用いたモデルの構築については本

年度はじめたところであるが、シミュレーションを実施するための個人、環境における感染確率を規定する基本設計を構築した。

また、大都市交通センサスデータでの次数の平均は 15.3 であり、次数相関係数は 0.57、平均クラスタリング係数は 0.46 であった。また概ね 98%が最大連結成分に属し、次数が高い順にノードを削除していくと次数 20 以上のノードを削除しても全ノードの半数以上が最大連結成分に属することが分かった。

アンケート調査においては回答のあった 285 の保健所のうち、天然痘対応マニュアルを整備している保健所は 74%とやや低く、整備状況に差があることが認められた。また、厚生労働省が定めた 6 つの実働班について、対応指針に記載されている必要な人員は 6 つの実働班それぞれについて決まっていない保健所は 4 割程度存在し、その管轄区域で天然痘テロが発生した場合には必要な人員が確保されない可能性があることが示唆された。また、実働班数の分布は、6 つの実働班全てについて決められている保健所は 55%であるのに対して、全く決まっていない保健所が 31%存在し、保健所間で実働班員の確保状況に大きな差があることが分かった。保健所の責任者が持つ不安事項の第 1 位に「実働班の人員不足」を選択した保健所が多かったが、実働班の確保状況に差はなかった。また、関係機関との連携や実働内容の取り決めがないことを最も不安に思う保健所についても、実際に取り決めを行っているか否かとは関連が見られなかった。医療従事者への調査から、マニュアルや病原体管理の指針に関する情報に接したり、実態や内容を経験的に認知したりする機会を持っていないこと、医療従事者が政府の対応策やその担当部門などに対して少なからぬ不信感、不安感を持っていることが明らかにされた。また、政府のテロ対策に対する評価は低かった。

D. 考察

本研究において、ibmを用いた検討においては、追跡接種は集団接種よりも効果的であるのは、被害者が要員+10〜20人までで、これ以上においては、追跡接種は集団接種より劣ることが示された。これは、集団への接種開始の判断基準となるものと思われる。したがって、投入する要員数を決定することが重要となる。そのためには、迅速に曝露量を推定する統計学モデルが必要不可欠となる。

また要員を担う関係者の意識が低いことも示されていることから、今後は人々の行動を反映したモデルを構築することで予防接種以外の感染予防対策の効果の検討を行う。

E. 総括

ibm がバイオテロ対策の評価にとって有益であり、対策立案の基礎的なツールとして利用されるべきであると結論づけられる。また、バイオテロにおける感染拡大において交通システムの関与は、非常に重要であると思われる。本研究ではそれへの基礎的な検討にとどまったが、都市交通センサスのデータを用いることが有効であることが確認された。その情報を ibm に反映させていくことが重要である。それを踏まえて今後 ibm に反映させていくことが重要である。

F. 健康危険情報

特になし

G. 論文発表

特になし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

特になし

Ⅱ 分担報告

分担報告書「individual based model を用いての公衆衛生的対応能力を明示的に考慮した
天然痘対策の評価」

大日康史 国立感染症研究所感染症情報センター

要約

目的:天然痘を用いたバイオテロに対する初期対応行動計画である天然痘対応指針を individual based model を用いて評価する。

材料と方法:人口 1 万人の保健所管轄を想定し、そのショッピングモールにおいて、天然痘の暴露を想定する。初期暴露人数、対応開始のタイミングあるいは動員される要員数毎に、追跡接種と集団接種の成績を比較する。

結果と考察:シミュレーションの結果、初発暴露者数が増加すると、要員が少ない場合、追跡接種の効果が急激に低下し、要員が多い場合、追跡接種の効果は大きくは低下しない。他方で、要員数が十分に大きくてもそれに応じて患者数が抑制されるわけではないこと、集団接種の効果は初発暴露者数が増加しても、平均的には変化しないことが明らかにされた。

結論:追跡接種は集団接種よりも効果的であるのは、初発暴露者数が要員数の 10-20 名程度までで、それ以上に初発暴露者数が増えると追跡接種は事実上効果的ではないと結論づけられる。この基準で、投入する要員数を決定することが重要となる。そのためには、迅速に暴露量を推定する統計学モデルが必要不可欠となる。

A. 研究目的

2001 年 9 月 11 日のアメリカにおける同時多発テロ、炭疽菌事件以降、バイオテロによる脅威が現実化しており、公衆衛生当局による準備が進められている。その際に最も重要となるのは、より早期にバイオテロの発生を感知するシステムの構築である。このためにアメリカや台湾などでは既に様々な新しいサーベイランスシステムが構築され、実際に運用され、また評価されている。それらはいずれも、診断された疾患に基づくサーベイランスではなく、自覚症状に関するサーベイランスであり、症候群サーベイランスと呼ばれている。その対象は多岐にわたり、一般用医薬品、救急外来、救急車要請、健康電話相談で実際に運用されている^{1,2,3)}。日本においても、一般用医薬品の

売り上げ、外来受診時あるいは救急車搬送時の症状のサーベイランスに向けての基礎的な研究が 2004 年度から始まっている⁴⁾。

早期探知の次に重要なのは、初期対応である。日本における具体的な公衆衛生的対応のガイドライン⁵⁾によると、各保健所で(1) 疫学調査班:6 名以上、(2) 検体採取・輸送班:4 名以上、(3) 消毒班:4 名以上、(4) 患者移送班:8 名以上、(5) 予防接種班:10 名以上、(6) 感染症動向調査班;2 名程度、の要員の確保が指示されている。本稿では、こうした要因計画の下で、初期暴露人数、対応開始のタイミングあるいは動員される要員数毎に、追跡接種と集団接種のいずれが被害抑制に効果的であるかについて、数理モデルを検討する。

これまでも天然痘における数理モデルは、多くは SIR モデルを用いて、追跡接種と集団

接種のいずれが被害抑制に効果的であるかについて、主に議論されてきた⁶⁻¹⁰⁾。残念ながらまだ確定的な結論にはいたっておらず、研究⁸⁾と、追跡接種の方が有効であるとする研究^{9,10)}が混在している。日本においても¹⁰⁾SIRモデルを用いて、さらに明示的な公衆衛生資源(マンパワー)の制約をかけて、追跡接種と集団接種の有効性を検討されている。

しかしSIRモデルは集団での感染拡大の描写には適切であっても、初期対応が重要となる感染者がごく少数である時点での実際の行動計画を現実的な生活空間で評価するためには、集団ではなく一人ひとりの人の活動を描写するibmが必要となる。したがって、本稿では、同じテーマをindividual based model(以下、ibm)を用いて検討する。

特に、本稿では対応計画を評価するために、ひとつの保健所に限定して、その保健所管轄の空間的広がりや、要員の人的資源の制約を明示的に考慮に入れながら初期対応を評価することが重要である。例えば、SIRモデルの多くでは接触者の捕捉率や予防接種率等を一定の割合でモデル化されているが、大規模流行時には捕捉率や予防接種率等が低下することが容易に考えられる。したがって、そうした割合ではなく、要員一人あたりの能力で初期対応を定義し、また現実的に家族、職場や学校、地域といった接触する場所によって捕捉率に差をつけたモデルが初期対応の評価には必要である。

天然痘におけるibmは本稿が初めてではない。アメリカでは160万人をモデル化したibmが試みられている¹¹⁾。本稿では、日本の生活パターンや人口密度を反映したibmを構築し、現行の日本における初動対応を評価する。

B. 材料と方法

B-1. 都市の設定

モデル上に図1のような1つの都市を作る。まず、一辺の長さが10の2次元正方格子を考える。ここで、1つの格子が1世帯に対応する。この2次元正方格子を校区と呼ぶ。つまり、1つの校区には100世帯が存在する。このような校区を縦5個、横5個並べたものを都市とする。つまり、都市には2500世帯が存在する。都市の概略図を図1に示す。

1世帯は4人とし、成人1、成人2、子ども1、子ども2の4種類とする。成人1が主に家庭の外で働く成人、成人2が主に家庭で働く成人、子ども1が学校に通う子ども、子ども2が幼稚園に通う子どもである。都市には2500世帯が存在するから、都合、人口は1万人となる。

B-2. 自然史

自然史を図2に示す。状態間の遷移確率、およびそれぞれの状態における就床率は先行研究¹⁾による。就床率は、社会活動を停止し、医療機関を受診し自宅で休養する割合で、この場合感染は家族内のみになる。以下では就床率と受診率は同義に用いる。なお、本稿では感染拡大の過程をモデル化することを主目的とするために死亡は考えない。

B-3. 接触過程

接触する場所として、家庭、近所、地域、職場、ショッピングセンター、学校、幼稚園、を想定する。その場所において接触により感染するか否かの確率は先行研究¹⁾によるとし、想定されていない部分は新たに仮定する。ここで、近所とはある世帯の周囲1世帯の世帯員である。地域とはある世帯の周囲10世帯以内の世帯の世帯員である。

職場とは各校区に1つずつ存在し、成人1が通勤する。勤務先は無作為に割り当てる。ショッピングセンターは各校区に1つずつ存在し、その校区の成人2が集う。学校は各校

区に1つずつ存在し、その校区の子ども1が通学する。幼稚園も各校区に1つずつ存在し、その校区の子ども2が通園する。その全体像を図3に示す。また地域、近所の関係を図4に示す。

B-4. 自然史等の仮定

自然史は先行研究¹⁰⁾に従う。 R_0 は1.5とする。初期状態での感受性者は成人の1/3と子どもとする。曝露場所は、ショッピングモールとし、そこである程度地域的に限定された成人2が集積しており、暴露を受ける。

B-5. 公衆衛生的対応のモデル化

保健所単位で初期対応を行うとする。追跡接種は接触者調査を行い、接触者の隔離、健康管理、予防接種を以下の仮定に基づいて行われる。要員一人あたり患者を一人/日、接触者を10人/日捕捉できるとする。つまり、捕捉可能人数を超える患者類は接触者が生じると未捕捉の患者あるいは接触者が生じることになる。ただし、接触者が家族の場合には5%/日、家族以外の場合には10%/日の捕捉漏れが生じるとする。

他方で集団接種では、要員一人あたり100人/日の未発症者の接種を行うと仮定する。

B-6. 感度分析

追跡接種あるいは集団接種を行う要員数として10, 20, 40名を想定する。

ショッピングモールでの初期曝露者数は10~80名まで10名刻みで検討する。

対応開始日として初期曝露から20, 30, 40日目に対応が開始されるとする。

R_0 として1.5, 3, 4.5を検討する。

B-7. シミュレーション

初発曝露から100日間の感染拡大を計算する。同じ公衆衛生的対応、要員数、初期曝露

者数、対応開始日、 R_0 で、確率的な環境が異なるシミュレーションを100回繰り返し、その平均的な状態で、対策の効果を評価する。対策の効果は、感染者数で評価する。

結果は、ショッピングモールで初期曝露患者数毎に、

追跡接種の場合と集団接種の場合で、介入を行わなかった場合における患者数に対する削減率で表記する。各図では、要員数と対応開始日(初期曝露からの日数)がそれぞれ、10名20日目、10名30日目、10名40日目、20名20日目、20名30日目、20名40日目、30名20日目、30名30日目、30名40日目、の9パターンで評価する。

◆ 倫理的配慮

本研究はすべてコンピューター・シミュレーション上で行われるので倫理的配慮は必要ない。

C. 結果

結果は図5-14にまとめられている。青線が追跡接種、緑線が集団接種である。図では右から要員数と対応開始日(初期曝露からの日数)がそれぞれ、10名20日目、10名30日目、10名40日目、20名20日目、20名30日目、20名40日目、30名20日目、30名30日目、30名40日目、の順で結果を示している。

図から初発曝露者数が増加すると、要員が少ない場合、追跡接種の効果が急激に低下する。要員が多い場合、追跡接種の効果は大きくは低下しない。他方で、要員数が十分に大きくてもそれに応じて患者数が抑制されるわけではなく、その意味で最適な要員数が存在する。

集団接種の効果は初発曝露者数が増加しても、平均的には変化しない。

D. 考察

本稿での想定では追跡接種は集団接種よりも効果的であるのは、初発曝露者数が要員数の10-20名程度までで、それ以上に初発曝露者数が増えると追跡接種は事実上効果的ではないと結論づけられる。この基準で、投入する要員数を決定することが重要となる。そのためには、迅速に曝露量を推定する統計学モデルが必要不可欠となる。

E. 結論

本稿では、国の天然痘対応指針の評価を行うための数理モデルを開発した。またこのモデルを用いて症候群サーベイランスを評価する事も重要である。また、保健所レベルでの対応計画の評価にも用いることができると考えられる。

次の課題として、ここでのモデルを職場、学校、地下鉄、イベント会場での曝露をリスク評価することに応用できる。特にイベント会場の場合には、都市間の移動も含めた長距離の移動者を含めて評価する必要がある。また、保健所管轄あるいは都市の規模における感度分析も必要であろう。モデルとしては、高齢者も含めて現実の人口分布に従う、あるいは企業規模、学校規模、通勤通学距離を現実にあわせる必要がある。

F. 健康危険情報

特になし

G. 論文発表

特になし

H. 知的財産権の出願・登録情報

(予定を含む)

特になし

参考文献

- [1] Henning.K.J., what is Syndromic Surveillance ?MMWR 2004;53(Suppl):7-11
- [2] Siegist DW and Tennyson SL, Technologically-Based Biodefense, Potomac Institute for Policy Studies, 2003.
- [3] Buehler JW, Berkelman RL, Hartley DM, Peters CJ. Syndromic surveillance and bioterrorism-related epidemics. *Emerg Infect Dis.* 2003;9;1197-204
- [4] 大日康史 平成 17 年度厚生労働科学研究費補助金新興・再興感染症研究事業「SARS、バイオテロ、インフルエンザ対策としてのリアルタイム・アウトブレイク・サーベイランスシステム構築のための基礎的研究(H16-新興-14)」報告書
- [5] 天然痘対応指針(第5版)厚生労働省健康局結核感染症課(平成16年5月14日)
- [6] Metlzer,MI, Damon I,LeDuc JW, and Miller JD, Modeling potential response to smallpox as a bioterrorist weapon. *Emerging of Infectious Disease* 2001;7:959-969.
- [7] Gani R, Leach S. Transmission potential of smallpox in contemporary population. *Nature* 2001;414:748-751.
- [8] Kaplan EH, Craft DL, Wein LM. Emergency response to a smallpox attack: The case for mass vaccination. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2003;100(7):4346-4351.
- [9] Halloran ME, Longini IM, Jr. A.Nizam N, Yang Y. Containing bioterrorist smallpox. *Science* 2002;298:1428-1432.
- [10] Ohkusa Y., K.Taniguchi, et al.

"Prediction of Outbreak in Smallpox and
Evaluation of Control Measure Policy in
Japan, by using Mathematical Model"
Journal of Infection and Chemotherapy
vol.11 no.2, pp.71-80, 2005

[11] Barrett, Eubank and Smith (2005)
Scientific American

図 1:都市の構造

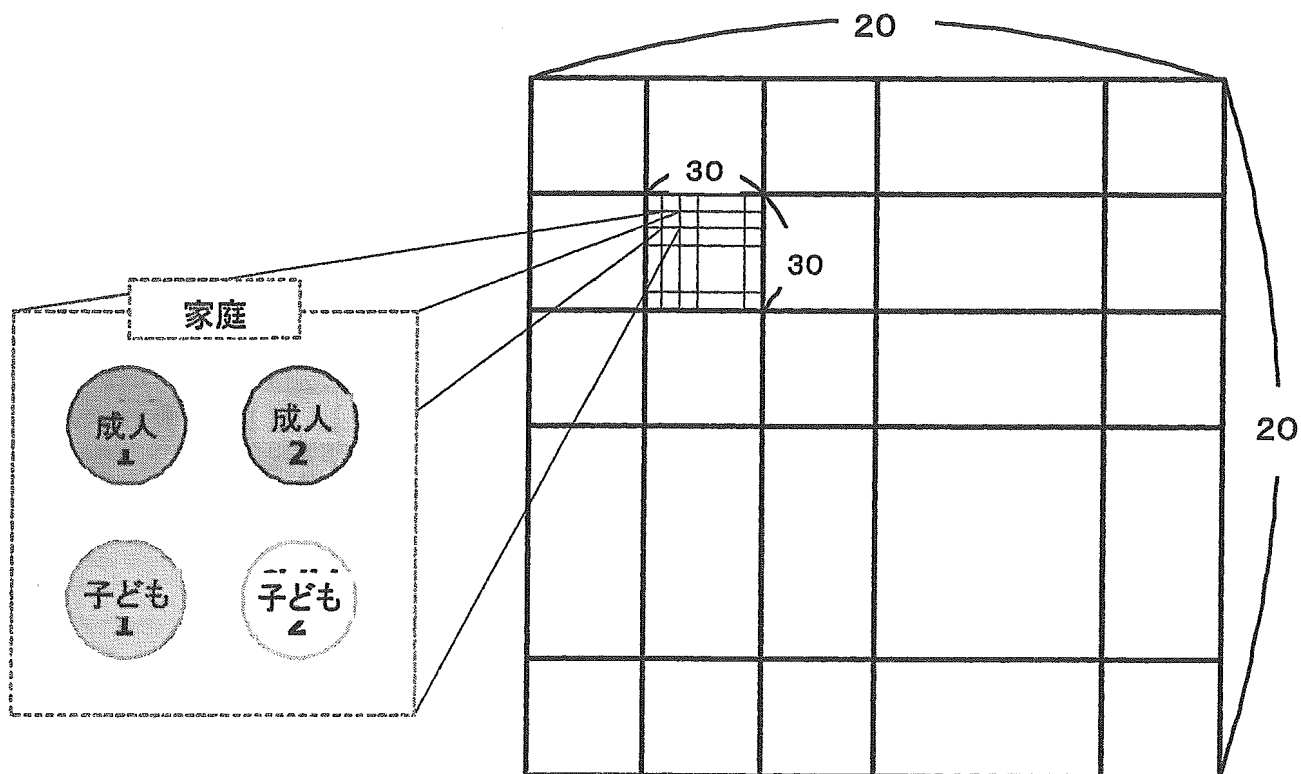


図 2: 自然史

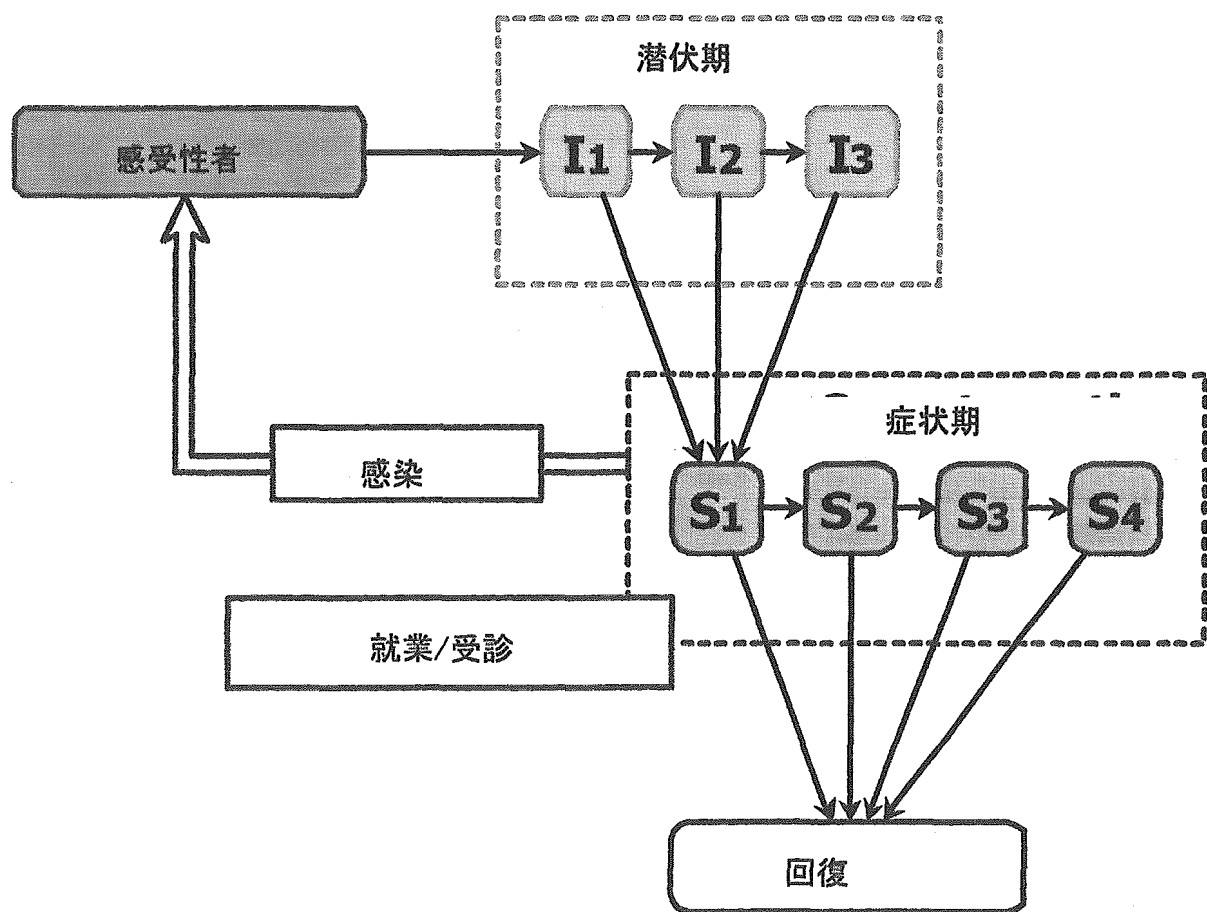


図 3: 接触過程

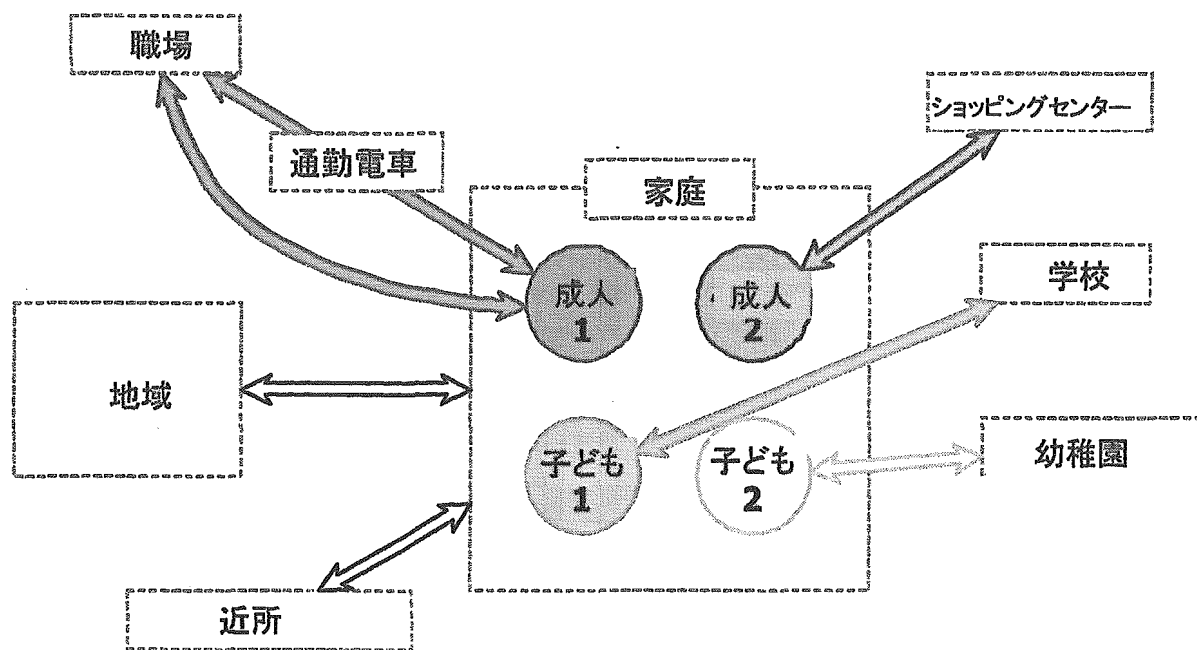


図 4: 地域と近所

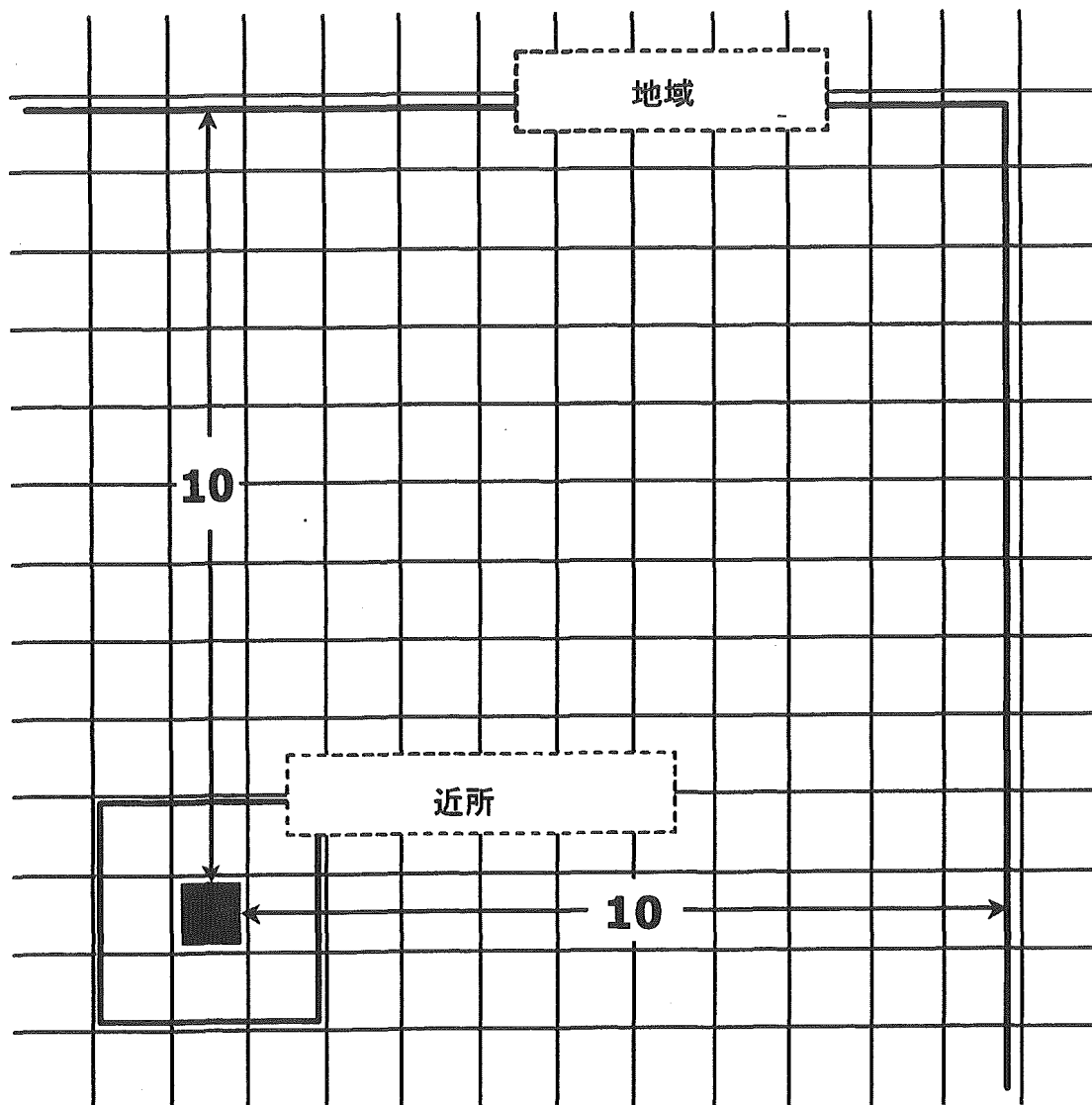


図5:ショッピングモールでの初発曝露者が10名

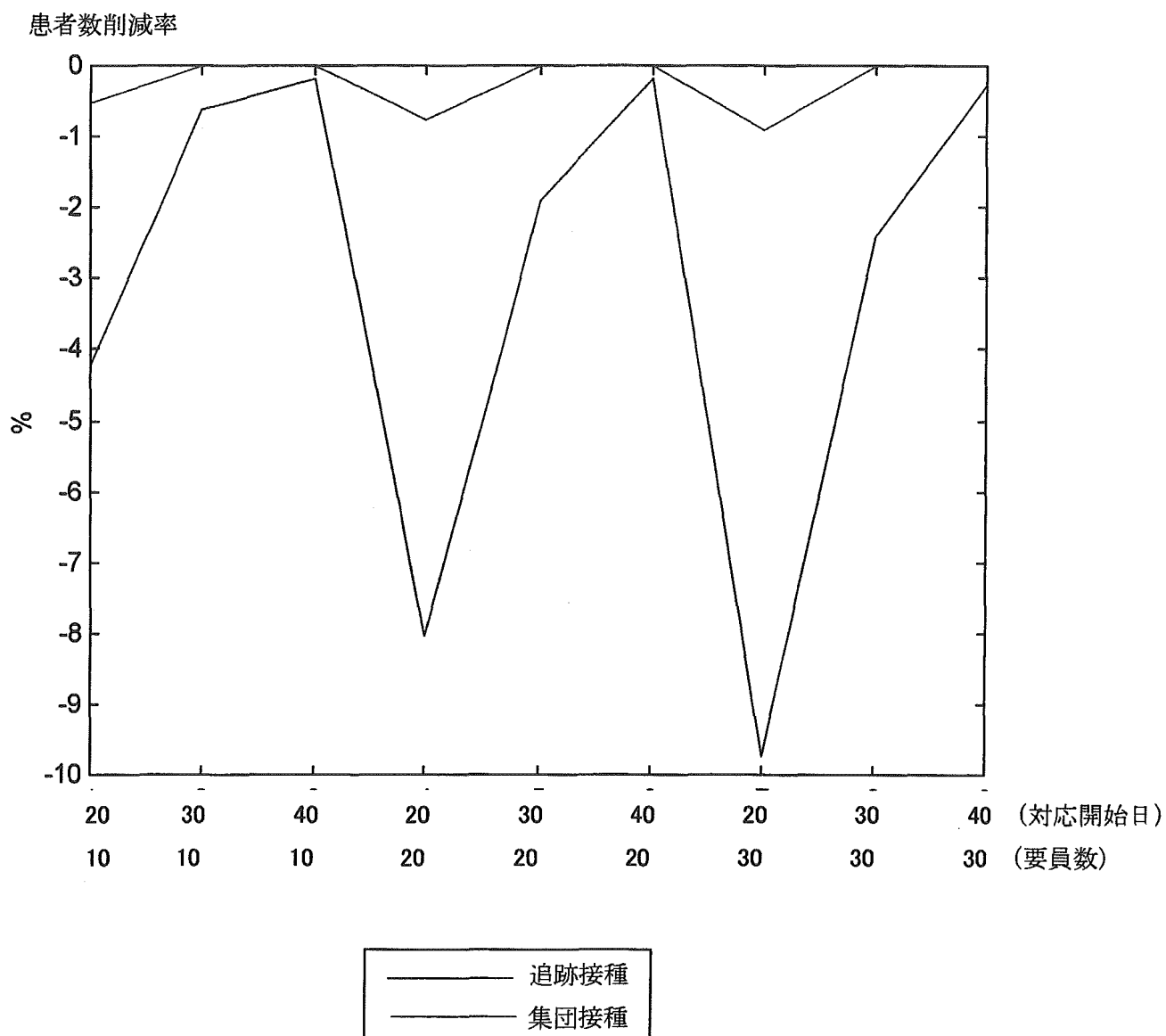


図6:ショッピングモールでの初発曝露者が20名

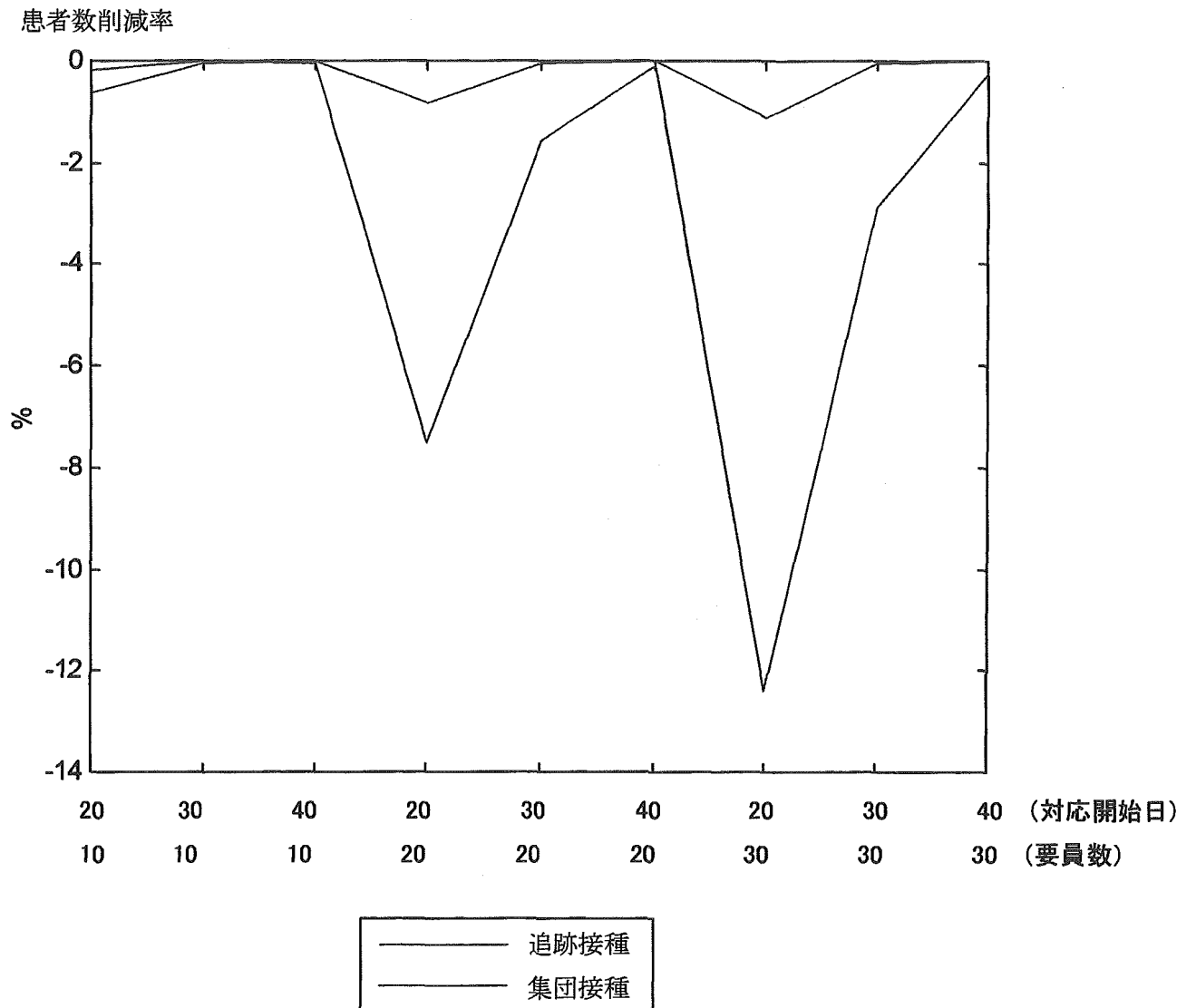


図7:ショッピングモールでの初発曝露者が30名

