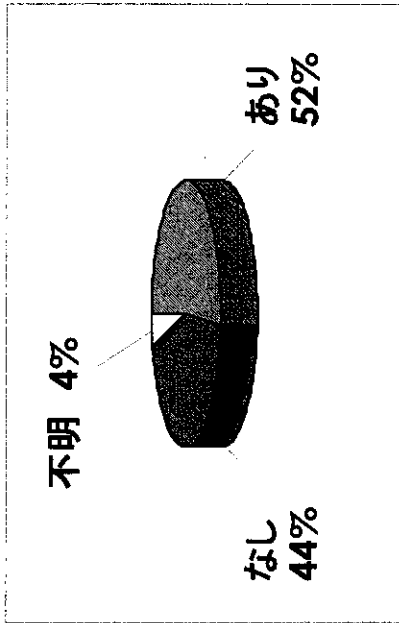
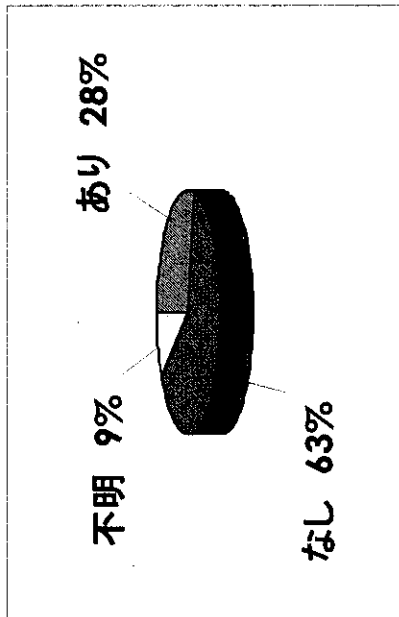
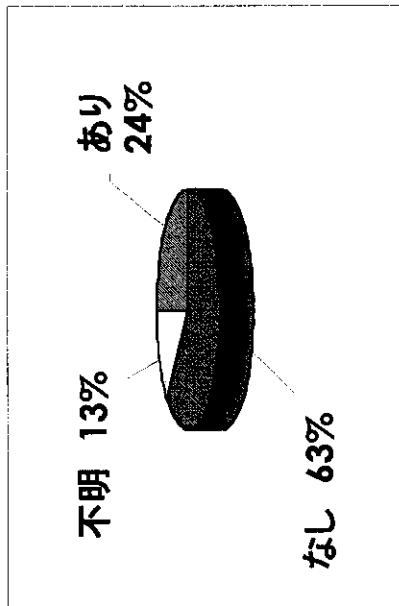
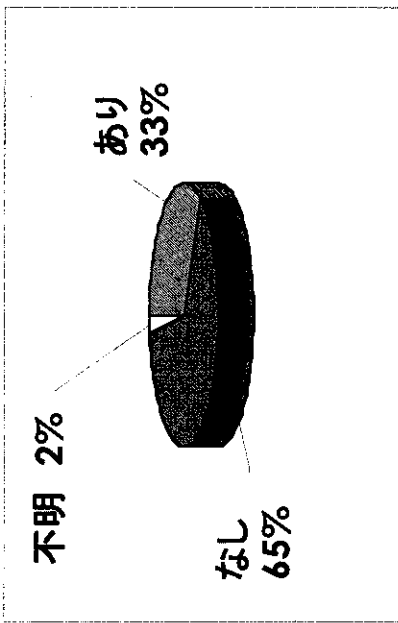
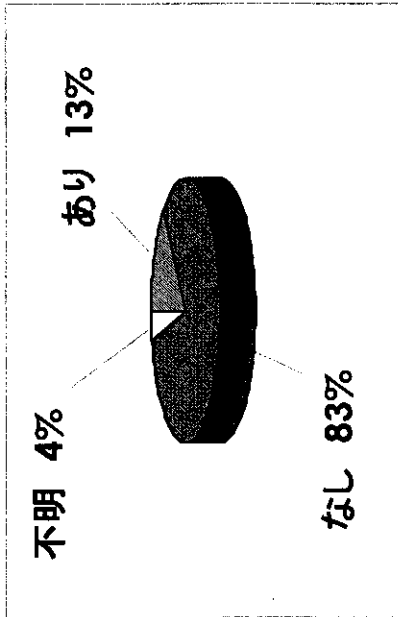
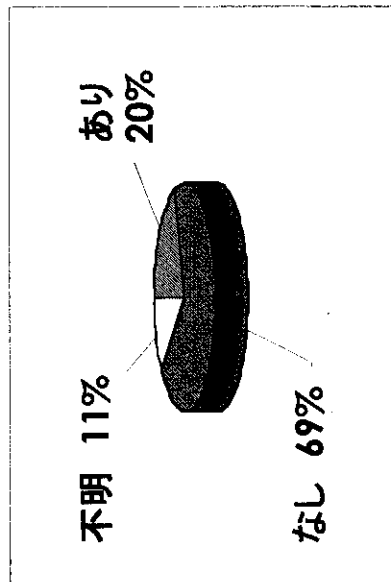


③

SARS患者の専門外来の有無について

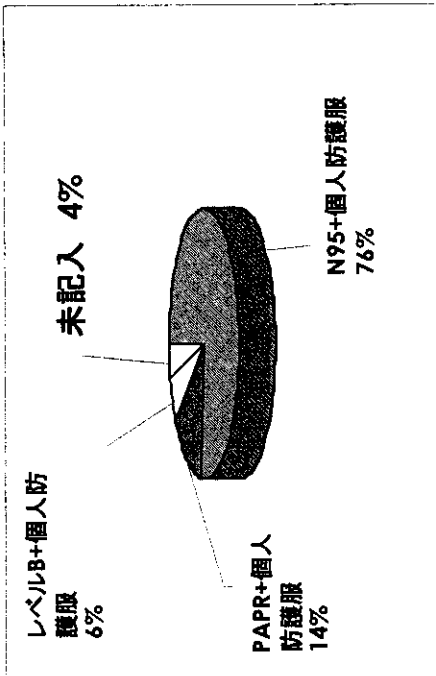
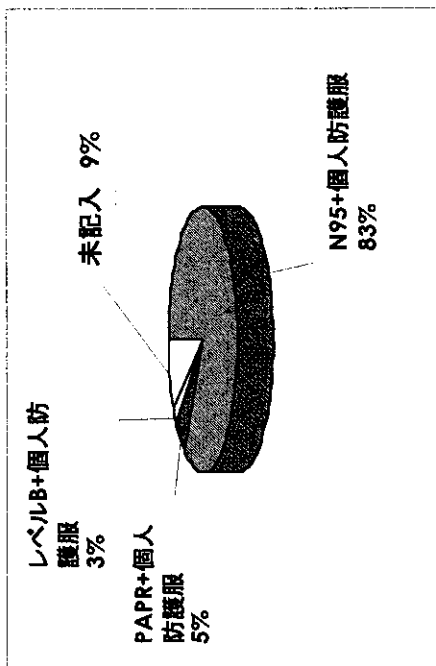
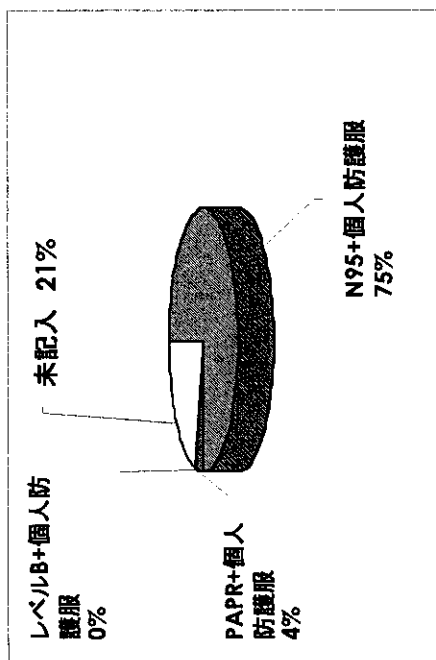


SARS患者専用の機器の有無について

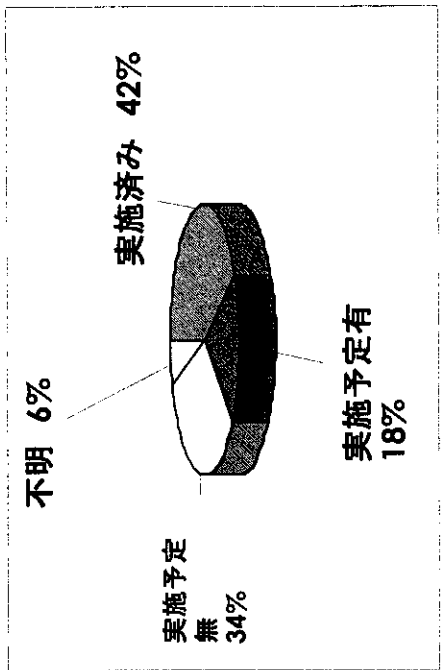
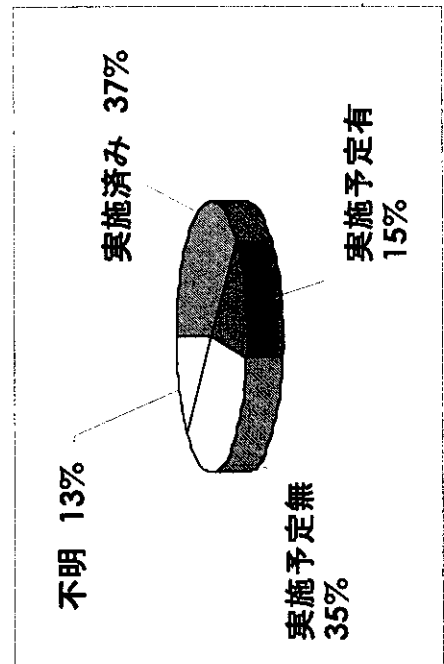
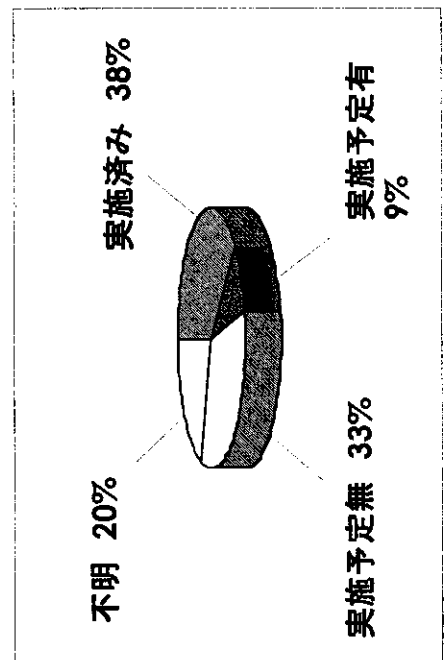


④

個人防護服、マスクなどの整備について

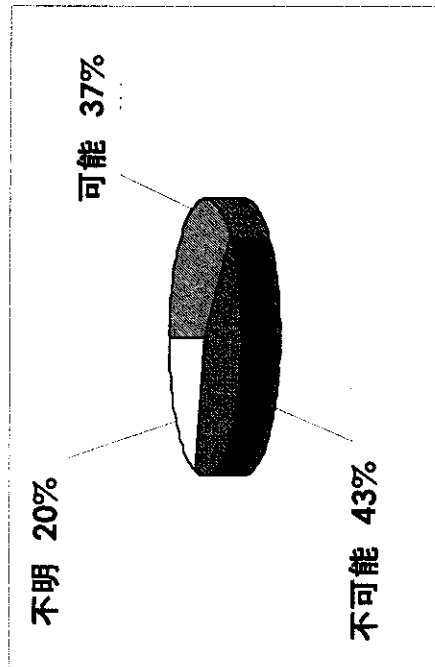
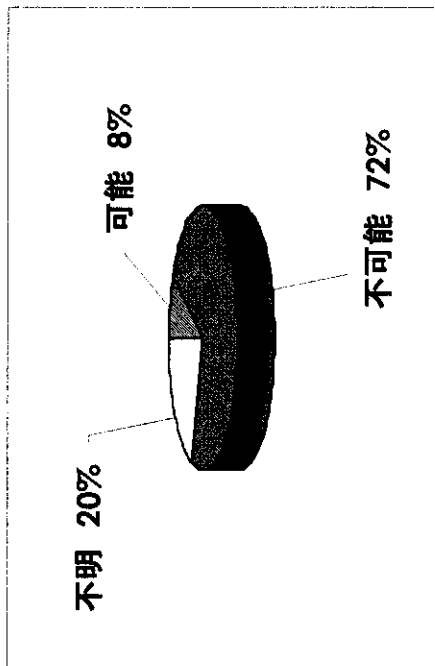
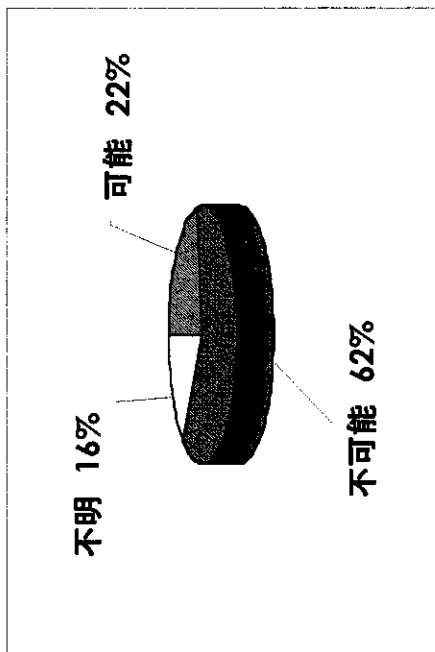


SARS患者発生時の対応訓練について

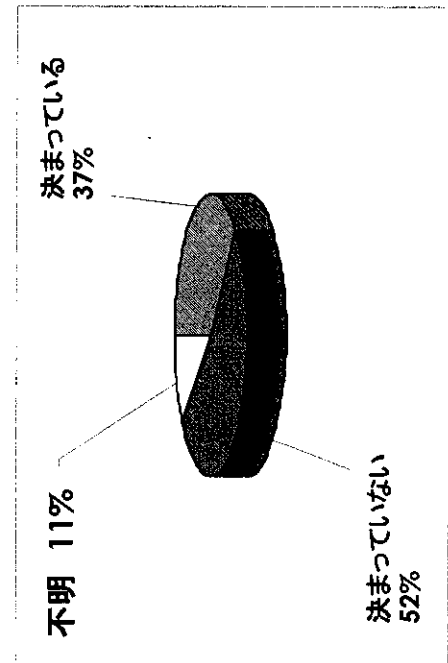
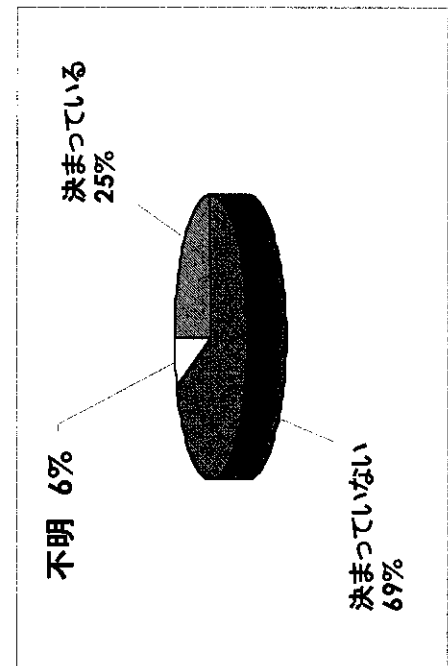
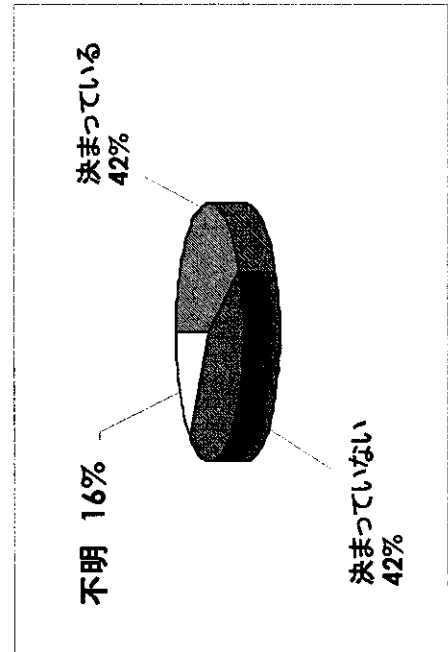


⑤

バイオテロに対する対応は可能かどうか？

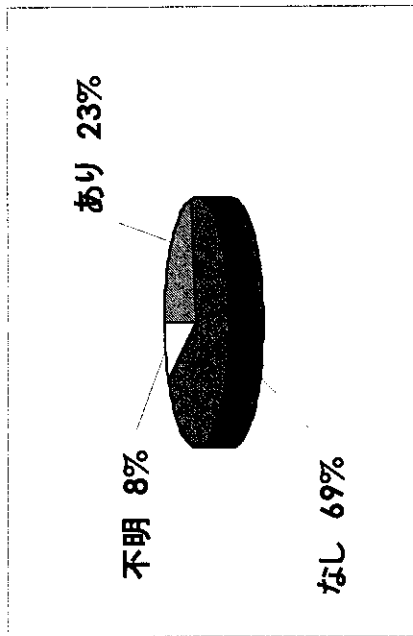
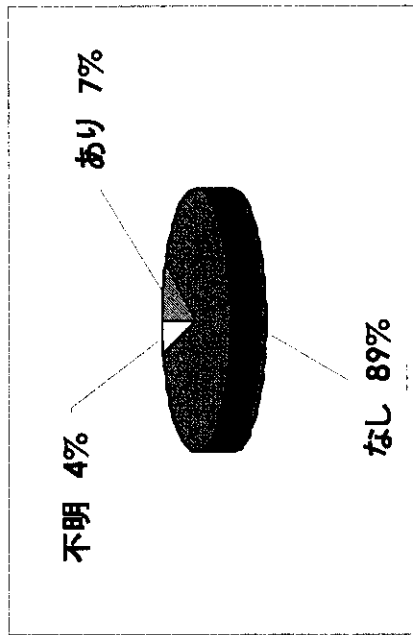
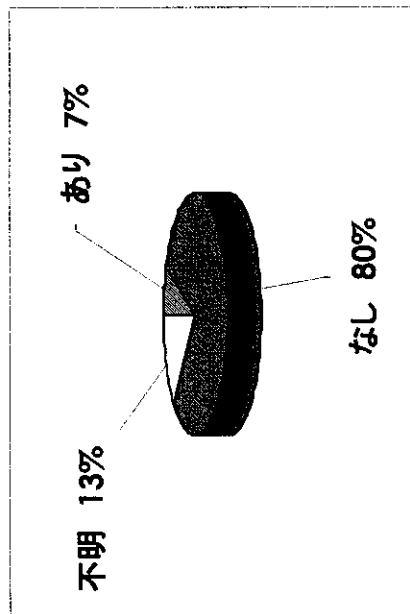


大規模感染症発生時の対応部署について決まっているか？

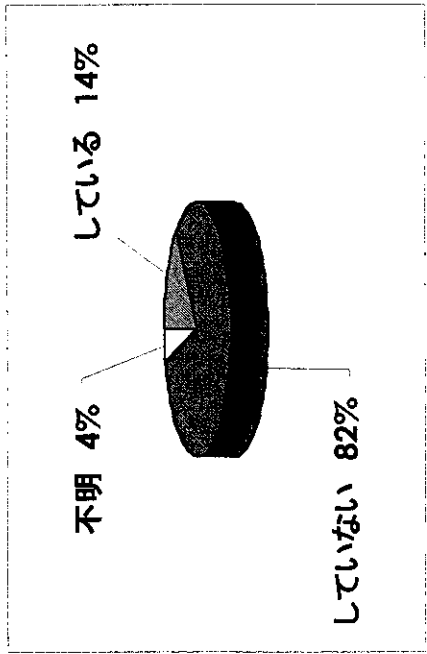
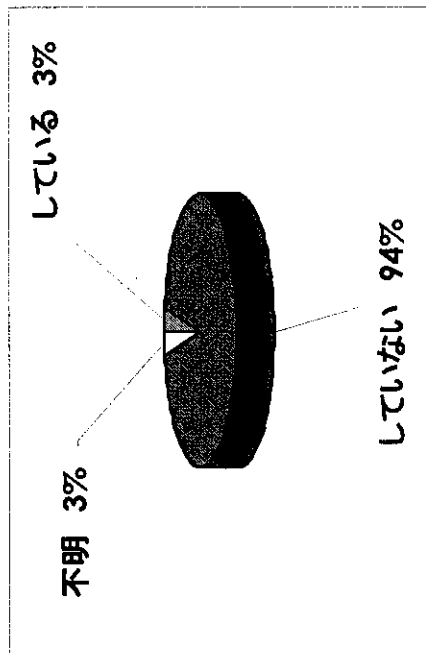
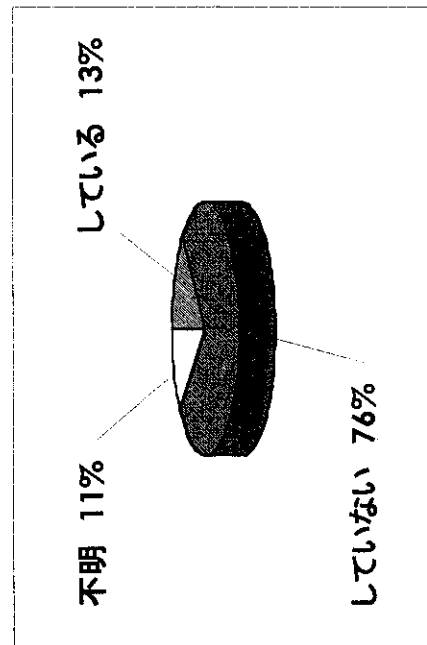


⑥

大規模感染症発生時の対応マニュアルの有無について

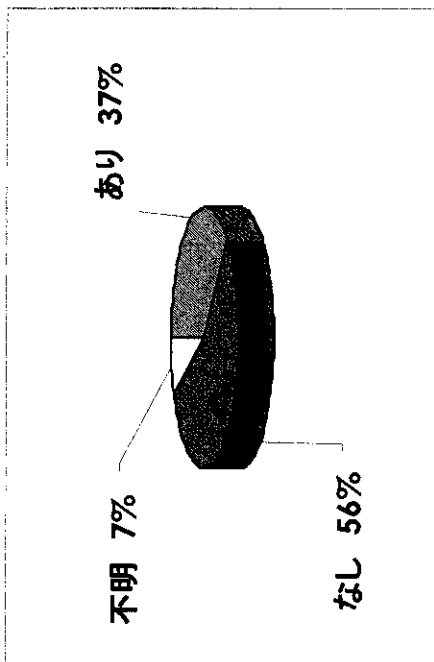
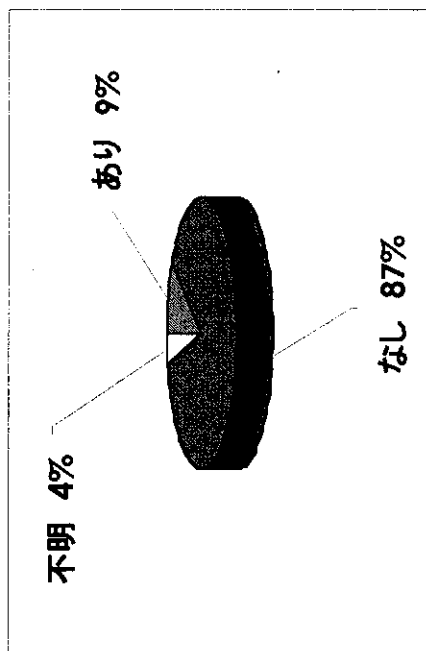
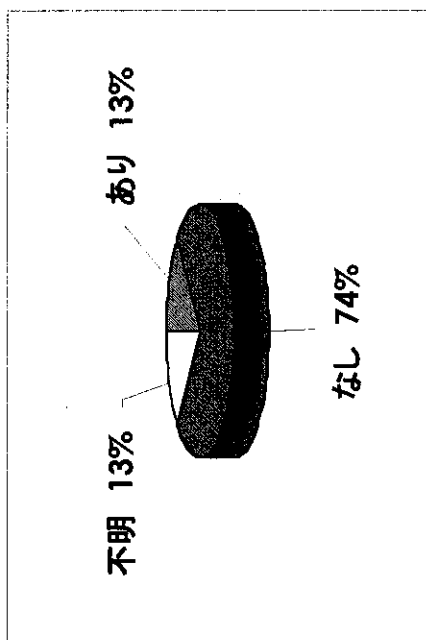


大規模感染症発生時の対応訓練について

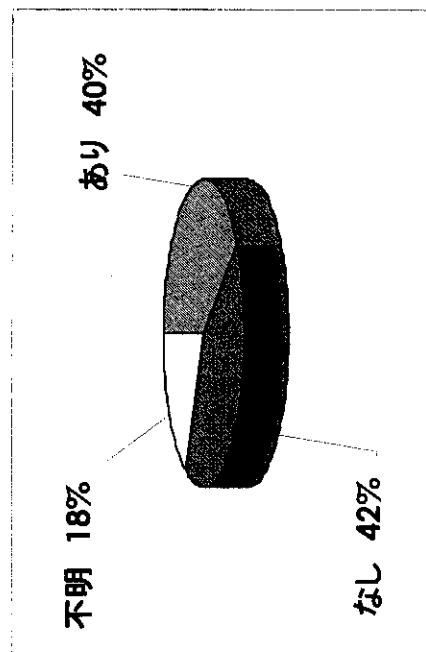
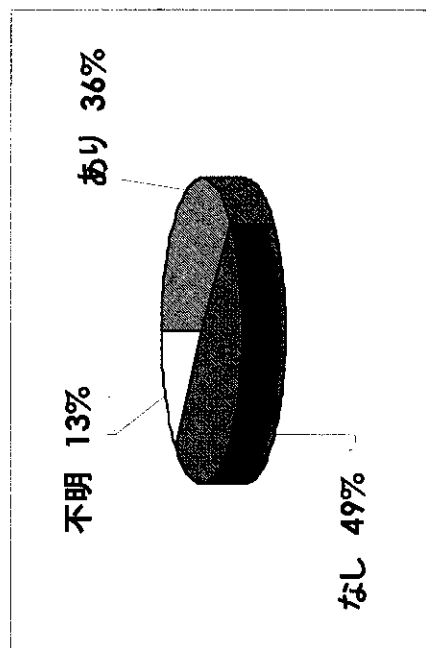
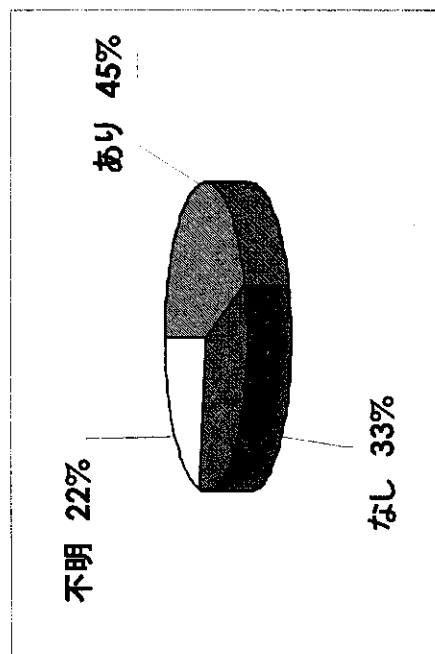


⑦

## 除染装備の有無について



## 大規模感染症発生時の情報交換網の有無について



⑧ まとめの表

病床数別		
200床未満	48	15%
201床～500床	147	45%
501床以上	131	40%

SARSマニユアルの有無		
あり	305	93%
なし	22	7%
不明	1	0%

個人防護服・マスク等の整備		
N95+個人防護服	299	91%
PAPR+個人防護服	31	9%
レベルB+個人防護服	12	4%
未記入	29	9%

バイオテロ対応		
可能	62	19%
不可能	190	58%
不明	76	23%

大規模感染症対応マニユアル		
あり	45	14%
なし	260	79%
不明	23	7%

大規模感染症発生時対応訓練		
している	30	9%
していない	283	86%
不明	15	5%

平成 15 年度厚生科学研究費補助金新興・再興感染症研究事業  
「大規模感染症発生時における行政機関・医療機関等との広域連携」

分担研究報告書

数理モデルを用いての天然痘流行予測と介入政策の評価  
国際機関におけるバイオテロリズム対策の調査研究

分担研究者 谷口清州 国立感染症研究所感染症情報センター  
研究協力者 大日康史 国立感染症研究所感染症情報センター  
研究協力者 重松美加 国立感染症研究所感染症情報センター  
研究協力者 小坂 健 国立感染症研究所感染症情報センター

**研究要旨**

近年の新興・再興感染症の状況と世界の Global 化は、一つの国で発生した人類の健康に対する危機が即座に世界中に波及する危険性をはらんでおり、特にヒト-ヒト感染を起こすような疾患の場合には、容易にパニックを引き起こす。これらのバイオテロを含む大規模の感染症アウトブレイクに対応するためには、平時からの危機管理意識と十分な事前準備が肝要である。本研究では、国内対策立案の基礎資料とするため、天然痘のアウトブレイクが発生した際に、公衆衛生当局が動員できる資源（マンパワー）という制約を明示的にかけて、感染者の接触者を追跡し、その隔離をおこなう追跡接種か、地域の感受性者に対して集団接種のいずれが有効に天然痘を抑制するかを数理モデルを用いて検討するとともに、国際的な感染症アウトブレイクに対する対応の枠組みを、国際保健規則 (IHR) の改正状況、世界感染症アウトブレイク対策ネットワーク (GOARN) の現況から検討した。

対策としてのワクチン接種の方法（追跡接種 VS 集団接種）の有効性は、最初に曝露を受けた患者数、 $R_0$ 、また、曝露から公衆衛生当局からの対応が開始されるタイミングなどに影響を受け、それによってワクチンの必要量も変わってくるのが判明し、迅速な対応と投入できる公衆衛生資源が重要であることが判明した。また、改正作業の遅れていた IHR は SARS の世界同時多発事例で国際的な報告の遅れが甚大な被害を及ぼすことが示され、報告対象をすべての人類に対する健康危機事例に広げたり、必要な場合には世界保健機関を初めとした国際チームが対策に介入することを明示したドラフトが示され、技術的なフレームワークである GOARN とともに、世界における感染症対策の規範として 2005 年の成立に向かって進みつつある。

**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、各国の公衆衛生当局により事前の準備が進め

られているが、一方、2003年のSARSの世界流行で明らかになったように、Global化した現在では国際的な情報共有と協調も極めて重要である。また、バイオテロも含めた感染症に対する対策立案には、実際にアウトブレイクが発生した際の被害の大きさや介入施策の効果などを事前に推測あるいは評価しておくことも不可欠である。

本分担研究では、昨年度は主に本邦におけるバイオテロの早期探知メカニズムの検討のために、症候群サーベイランスシステムを樹立し、ワールドカップサッカー大会の際に実際に運用し、そのシステムの評価と異常探知アルゴリズムの検討を行った。それらの経験は、SARSのための症候群サーベイランスシステムを樹立する際に大きな貢献となった。この研究項目は厚生労働科学特別研究事業「SARSに関する緊急研究」主任研究者吉倉廣 国立感染症研究所長の研究枠として行ったため、ここでは述べない。

今年度はまず、バイオテロが発生した際の拡大防止対策の立案のため、数理モデルを使用して、種々の介入施策の評価を行い、公衆衛生当局が投入できるマンパワーと併せて検討した。同時に、世界保健機関で進められている世界保健規則 (International Health Regulation; IHR)の改正事業に協力する過程において、その内容と進捗状況の検討を行い、またバイオ・化学テログループとの協力により、各国のバイオテロに対する対応体制の評価に係わる研究を行った。また症候群サーベイランスシステムにおける情報技術基盤の評価を行うため、Web上でのサーベイランスシステムの樹立と運用に

ついて、厚生労働科学研究事業「効果的な感染症発生動向調査のための国及び県の発生動向調査の方法論の開発に関する研究」主任研究者 谷口清州と協力して、インフルエンザ迅速把握システムについての検討を行った。システムの開発は前述の研究班で行い、本研究班は主に運用面で協力したため、詳細は前述の研究班に報告する。

## B. 研究方法

### B-1. 数理モデルによる介入施策の評価

数理モデルはインフルエンザのパンデミック・プランニング<sup>1)</sup>やSARS対策<sup>2)</sup>、あるいは予防接種の効果<sup>3),4)</sup>に適用されている。バイオテロで想定される天然痘においても同様で、既に欧米を中心に研究が進められている<sup>5)-8)</sup>。そこでの主要な論点は、感染者の接触者を追跡し、その隔離をおこなう追跡接種か、地域の感受性者に対して集団接種のいずれが有効に天然痘を抑制するか、である。これに関しては意見が対立しており、かなりの高い確率で集団接種の方がより有効であるとする研究<sup>7)</sup>がある一方で、全く逆の結論、つまり追跡接種の方が有効であるとする研究<sup>8)</sup>も報告されている。

しかしながらそのいずれにおいても、公衆衛生当局が動員できる資源 (マンパワー)の制約を明示的に考慮していない。他方で、そうした制約を明示的に考慮した理論的な研究<sup>9)</sup>がなされている。

本研究では、公衆衛生当局が動員できる資源 (マンパワー) という制約を明示的にかけて、この問題を吟味する。また、日本におけるこのような研究の蓄積は十



分ではない<sup>10)</sup>。また、追跡か集団であるかを問わず予防接種を考慮していない。その意味でも本稿が今後の対策立案に貢献すると思われる。

#### ①基本モデル

基本的なモデルの諸仮定を表1にまとめてられている。モデルの構造は、先行研究<sup>5)-8)</sup>に従いマルコフモデルを想定するが、感受性者人口は一定としいずれば自然終息する。 $R_0$ や、感染確率、潜伏期間、前駆期間、発症期間の分布もやはり先行研究<sup>5)</sup>に従うが、そこでは感染確率は実際の分布<sup>11)</sup>によっている。 $R_0$ は1.5、潜伏期間は5～17日、前駆期間2～3日、発症期間11～15日間とされている。初発患者数は1名、感受性人口は日本での先行研究<sup>10)</sup>に従い、天然痘の予防接種が中止された1976年以降出生人口であるおよそ3000万人とする。

集団接種は、公衆衛生資源を5000名として、担当者一人あたり一日200接種するとする<sup>7)</sup>。他方で、患者は隔離までに一日当たり50人と接触するとして、追跡接種の場合も接種可能な人数も同じ担当者一人あたり一日200接種とする。他方で、追跡調査では追跡を行う必要があるので、接種に動員されていない担当者が当たるものとする。その際の、担当者一人当たり一日に追跡できる人数は200人とする。この接種と追跡の効率を以下では、接触者捕捉効率と呼ぶ。

#### ②数理モデル

数理モデルは、付録にある一連の数式で構成される。まず、人口は非接触感受性者、治癒・死亡、非感染接触者隔離、非感染接触者未隔離、感染接触者未隔離潜伏期、感染接触者未隔離前駆期、感染

接触者未隔離症状期、感染接触者隔離潜伏期、感染接触者隔離前駆期、感染接触者隔離症状期で構成される。患者と全く接触のない人口が非接触感受性者で、ここから接触した者が除かれる。接触した者は、感染した者と非感染の者という軸、隔離された者と隔離されなかった者という軸の4分類に大別される。非感染で隔離された者は隔離されている期間は感染することはないが、隔離されなければ非接触感受性者と同じ市中の感受性者である。感染接触者は隔離されている場合には、感染力を有しないが、未隔離の場合には感染性を有する。この感染力は、未隔離感染者一人あたり、 $R_0$ と、市中感受性者の人口に占める割合、感染力の分布との積によって決まる。

#### ③感応性分析

感応性分析の対象とするパラメーターとその範囲を表2にまとめられている。 $R_0$ は、3, 5, 10を想定する。5以上は先行研究<sup>10)</sup>で想定されている。介入としては、介入開始日を先行研究<sup>5)</sup>に倣って30、45、60日とする。初発患者は、先行研究<sup>5)</sup>で想定されている1000を検討する。接触者捕捉効率は先行研究ではない概念であるので、基本モデルの1に加えて1/100を想定する。

### B-2. 国際的なバイオテロ対応の枠組

2000年4月WHOにより、世界中の感染症対策ネットワークを統合したネットワーク(Network of Networks)のコンセプトの基に樹立された、Global Outbreak Alert and Response Network (GOARN)は、世界の主立った感染症対策機関やネットワークを集めて協力体制を築き、国際的

に重要な感染症アウトブレイクを、速やかに探知、確認、情報共有して、世界中に存在する知識と技術を、有効に適切に、それらを必要としている地域に集約して、鎮圧しようというものである。2003年のSARSの世界流行の際にもこのネットワークが実地対策において大きな役割を果たしたのは周知の事実であり、同じく天然痘などのバイオテロの際にも感染症対策の分野で活動することが期待されている。2003年度にWHO本部で開催されたGlobal Outbreak Alert and Response Networkの運営委員会、総会、あるいはIHR改正チーム、BCテロプロジェクトグループとの面談において、国際的な枠組みについて情報収集するとともに、具体的な議論を行った。また、WHO主導で行われている化学・バイオテロの国家レベルでの準備態勢の強化プロジェクトでは、Public health response to biological and chemical weapons: WHO guidanceをうけて、各国での準備態勢の強化にむけて活動を行っており、現在国家レベルでの準備態勢の評価ガイドライン(Draft Guidelines to Assess National Health Preparedness and Response Programmes to the Deliberate Use of Biological and Chemical Agents)の作成を進めており、ガイドラインのドラフト作成に参画した。

## C. 研究結果

### C-1. 数理モデルからの結果

表3に集団接種の場合、表4に追跡接種の場合がまとめられている。それぞれ $R_0$ 、初発患者数、介入開始日によって、都合24種類の想定がまとめられている。

結果としては、3ヶ月後、半年後、1年後の患者数、及びその際に行われるワクチン接種人数をまとめている。表3、4の比較から明らかなように基本モデルでは、全ての場合で追跡接種の方が流行を抑制できる。その際に、集団接種の場合には2000万人分前後のワクチン接種が必要となる。一方で追跡接種の場合での必要なワクチン接種は少ないが、最初に曝露を受けた患者数が多く、 $R_0$ が高く、曝露から公衆衛生当局からの対応が開始が遅れた場合には、1000万人以上のワクチン接種が必要となる場合もある。

接触者捕捉効率を1/100にした場合の結果が表5にまとめられている。表3、5の比較から集団接種の方が累積患者数が少ない場合もある。介入開始日が遅れるほど、集団接種がより流行を抑制できる範囲が拡大する。例えば、 $R_0$ が9であれば、初発患者10人以上で集団接種の方がより効果的となる。

### C-2. 国際的な対応の進捗状況

IHR改正の方向性として、以下の4点が上げられている。1) 国際的報告：これまで黄熱、ペスト、コレラの3疾病のみの報告疾患より、国際的に重要な健康危機事例全般に拡大された。WHOは当該国からの報告のみならず、他の非公式な情報源からの噂についても、当該国に調査を依頼、あるいは介入する機能が付加された。2) 上述の報告に関連して、National Focal Pointを2名設定して、24時間連絡が取れるような体制を樹立する。3) 国際的に重要な健康危機事例を迅速に探知するために、国レベルで整備すべきサーベイランスと対応体制につ

いての定義が設定された。4) 国際的報告をする際の基準を設定し、とるべき方策を示すこと。報告基準に関しては、フローチャートとともに具体的に考慮すべき項目が示されている。

こういった基本方針は、2003年の国際的な SARS の発生の際に中国からの報告が遅れたことなどからも、より重要性が認識され、2004年中に WHO 地域単位で合意のための会議が行われ、その後最終稿としてまとめられて、2005年の WHO 総会で決議される予定となっている。

また、GOARN の運営委員会では、SARS に対する WHO の取り組みと実際の活動、あるいは初期の取り組みとその反省についての議論が行われた。特に SARS の際の初期の探知が遅れたことについて、ネットワークとして、どのように早期探知のためのメカニズムをもつべきか、あるいは、迅速に対策を樹立するために、共通の方式で、疫学調査を行うことについて、共通の項目の設定や、共通の疫学調査システムの開発についての提案がなされた。また、前回の SARS の際には、緊急的に、Global Influenza Network を母胎にしてラボ、臨床、疫学それぞれのネットワークが樹立されたのについて、今後このような事態、すなわち、「Next SARS」の事態には、この GOARN を母胎にして、迅速にネットワークを樹立することが提案された。これらの運営委員会の提案は、2004年3月4～5日に行われた GOARN 総会にて承認されている。

国家レベルでの準備態勢の評価ガイドライン (Draft Guidelines to Assess National Health Preparedness and Response Programmes to the Deliberate

Use of Biological and Chemical Agents) に関しては、1. National Policy (国家方針)、2. Threat, Risk, Hazard and Vulnerability Assessment Processes (危機管理)、3. Preparedness Planning (事前準備態勢)、4. Training and Development (トレーニングと整備)、5. Monitoring and Evaluation (評価) に大分類し、それらを更に細分類して評価する枠組みが示され、またそれらの具体的な質問事項やフィールドでの評価活動の日程などが記載されている。現在は依然ドラフト段階であり、現在世界の研究協力者により検討が行われている。

## D. 考察

### D-1. 数理モデルによる結果の考察

この様な集団接種か追跡接種か、いずれが天然痘の流行抑制にとって有効であるかを検討した。その結果、接触者捕捉効率が高い場合には、少なくとも考慮したパラメーターの範囲内では追跡接種の方が、集団接種よりも流行の抑制に効果的である一方、接触者捕捉効率が低い場合には、 $R_0$ 、初発患者数、介入開始日に依存して、集団接種が追跡接種よりも流行の抑制に効果的な場合もある、とする結果を得た。

これは同じ集団接種と追跡接種の相対的な効果について議論している研究<sup>7)</sup>と定性的な結論は同じ ( $R_0$ 、初発患者数が多いほど集団接種が望ましくなる) であるが、定量的には大きく異なる。つまり先行研究<sup>7)</sup>では、 $R_0$ が1、初発患者数が15人程度、あるいは  $R_0$ が1.3、初発患者数が1人程度で既に集団接種の方が

効率的になると結論づけている。本稿の結果ではこれらの領域では間違いなく追跡接種の方が効率的である。本稿と先行研究<sup>7)</sup>は基本的なモデル構造やパラメータの値はほぼ同じであるが、以下の点で異なる。つまり、先行研究<sup>7)</sup>では、集団接種と追跡接種の違いは一日の接種人数の違いのみで示されている。また、追跡と接種の効率も3:1で固定されている。言い換えると、接触者を捕捉し、接種してから次の接触者の捕捉にかかっている。他方、本稿では、追跡接種ではまず接触者の隔離が行われ、余力で接種を行っている、としている。接触者の隔離で既に二次感染は抑制されるので、その分だけ、追跡接種の方が効率的となっている。そのことにより、追加接種が効率的な領域がより拡大している。

その意味で本稿が想定したように公衆衛生資源の制約を明示的に考慮した上で、また、捕捉と接種の優先順位を考慮した上で、集団接種と追跡接種のいずれが効率的であるかを検討する方がより妥当であり、現実的であると思われる。また、結論的にも、先行研究<sup>7)</sup>では、現実的なほとんど全ての場合で集団接種の方が効率的であるという結論になるので、にわかには首肯しがたい。その意味でも、本稿の方がより現実的な結論であると言える。

$R_0$ 、初発患者数、介入開始日、あるいは他のパラメータは先行研究にしたがって現実的に妥当な数値である一定の担保があるが、接触者捕捉効率については十分な知見がない。これがどの程度であるかについて、実際の日本の公衆衛生体制に即した数値が必要となる。参考にな

るのは、2003年5月の台湾人 SARS 患者の関西訪問時の、公衆衛生当局の対応である<sup>13)</sup>。それを詳細に検討することによって接種者捕捉効率の尤もらしい値を求めることが可能であると考えられる。

また、残された課題として今回の分析からは除外された、1980年以前の予防接種経験者(9000万人)の考慮が必要であろう。この人口集団においては接種後、かなりの年月が経過しているが、一定の感染防御力が残存していると考えられる。本稿のモデル分析に加える必要がある。

#### D-2. 国際的な対応枠組み

現行の IHR では、加盟国はコレラ、ペスト、黄熱の三疾患しか報告する義務はなく、エボラ出血熱とかニパウイルス脳炎、あるいは SARS など国際的に極めて重要なアウトブレイクであっても、報告する義務はないし、調査に応じる義務もない。また、途上国での感染症アウトブレイクであって、放置すればその国での被害が拡大したり、他の国へ波及することがわかっているにもかかわらず、あくまで当該国からの正式な依頼がなければ、WHO を含む世界は、積極的に介入したり、対策を支援することは不可能であった。

こういった状況を一挙に進展させたのが、今回の SARS の事例であり、第 56 回世界保健総会の席上、参加 190 カ国以上の代表の満場一致で、SARS 決議案が採択された。決議案では、SARS が「21 世紀最初の重篤な新興感染症」と確認し、SARS や他の新興・再興感染症を制御するために、すべての国々の全面的な援助を呼びかけている。また決議案では、「WHO

へ迅速で透明性のある症例報告を行い、依頼された情報を提供すること」を、各国に対し要請している。さらに各国は、「導入した感染制御対策が、疾患の拡大防止に効果がない」場合には、WHO の援助を依頼するように求められている。また、合意をもって採択された決議案の中で、WHO 事務総長を通じて WHO に、政府の公式通知以外の情報源からの流行に関する情報も考慮し、国際的な感染拡大を阻止するための適切な制御手段が取られるように、各国国内で現地調査を行うように要請があった。これらの新しく認められた機能により、集団発生や流行に迅速に、かつ近隣諸国や他の国々への感染拡大を防止するために十分な強制力をもって対応する、WHO の能力が強化されることが期待されている。

また、これを補う上での GOARN の意義についても、上述の決議案に明示され、GOARN 機能強化のため、4 つの分野での戦略計画も GOARN 総会で採択された。現在アジア地域で問題となっている高病原性トリ型インフルエンザにおいても GOARN が中心となって対応を行っており、こういったメカニズムを通して国際的に協調していくことが、我が国にとっても重要であると考えられた。

## E. 結論

数理モデルは、実際のアウトブレイクが発生する前に、その帰結や対策を評価することができる。特に、バイオテロや SARS ではその重要性はなおさらである。今後は、人口の地域的な偏在、人口の移動をも考慮したより精密な数理モデルの

開発とそれに基づく対策の評価が必要となるであろう。

また、ワクチン本数がかなり限定されている場合には、本稿のように接触者を優先して接種を行うべきか、あるいは医療関係者、公衆衛生従事者を優先して接種をおこなうべきかという課題も、現実の問題として残る。そうした問に答えを出していくのも数理モデルの重要な使命であるといえよう。

SARS を引き合いに出すまでもなく、近年の新興・再興感染症の状況と世界の Global 化は、一国で発生した人類の健康に対する危機が即座に世界中に波及する危険性をはらんでおり、持続的に世界における感染症発生情報を収集することは非常に重要であり、また被害国における対策に我が国として協力することは、国際協力の意味のみならず、結果的に我が国の国民を守ることになる。今後も国際的な対応の枠組みに積極的に参画し、協調していくことが重要である。

## (参考文献)

- [1] Marianne L.L. van Genugten, Marie-Louise A. Heijnen, and Johannes C. Jager. Pandemic Influenza and Healthcare Demand in the Netherlands: Scenario Analysis
- [2] Marc Lipsitch, Ted Cohen, et al. Transmission Dynamics and Control of Severe Acute Respiratory Syndrome, *Science*, 300(5627), 1884-5, 2003
- [3] 徳永章二、新型インフルエンザのコンピュータ・シミュレーション 平成 12 - 13 年度科学研究費補助金研

究成果報告書 2002

- [4] M. Brisson, W. J. Edmunds, Economic Evaluation of Vaccination Programs: The Impact of Herd-Immunity Health Economics, Medical Decision Making 2003 p76-
- [5] Lieu TA, Cochi SL, Black SB, et al. Cost-effectiveness of a routine varicella vaccination program for US children. JAMA 1994 ;271:375-381
- [6] Metlzer, M. I., Damon, I., LeDuc, J. W., and Miller, J. D. (2001) "Modeling potential response to smallpox as a bioterrorist weapon" Emerging of Infectious Disease 7, pp. 959-969.
- [7] Gani, R. and S. Leach (2001). "Transmission potential of smallpox in contemporary population" Nature 414, pp. 748 - 751.
- [8] Kaplan, E. H., D. L. Craft, L. M. Wein (2002). Emergency response to a smallpox attack: The case for mass vaccination. PNAS 99, 10935.
- [9] Halloran, M. E. I. M. Longini Jr. A. Nizam and Y. Yang (2002). Containing bioterrorist smallpox. Science 298, 1428-1432.
- [10] Margaret L. Brandeau, Gregory S. Zaric, Anke Richter, Resource allocation for control of infectious disease in multiple independent populations: beyond cost-effectiveness analysis, Journal of Health Economics 22:2003, pp. 575-598.
- [11] 徳永章二 (2003), "予防医学から見た技術的基盤整備に関する研究," 厚生

労働科学研究補助金新興・再興感染症研究事業「国内での発生が稀少のため知見が乏しい感染症対応のための技術的基盤整備に関する研究」報告書.

- [12] Meack T. M. (1972). Smallpox in Europe, 1950-1971. Journal of Infectious Disease 125, pp. 161-169.
- [13] Canadian Press (2003). Taiwan tourist diagnosed with SARS in Japan. <http://cnews.canoe.ca/CNEWS/World/2003/06-26/119688-ap.html>

#### F. 健康危険情報

特記事項なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

- 1) 谷口清州. グローバル時代の感染症・世界の脅威. 日本臨床 印刷中
- 2) 谷口清州. 地球規模での感染症アウトブレイク対応. 感染症 印刷中

##### 2. 学会発表

- 1) 谷口清州. 感染症に対するグローバルな対応. 第35回東海抗菌化学療法研究会、名古屋、平成16年1月.

#### H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む。)

特記事項なし

##### 1. 特許取得

特記事項なし

##### 2. 実用新案登録

特記事項なし

##### 3. その他

特記事項なし

表 1：基本モデルの諸設定

変数	設定	出典
モデル	マルコフ	先行研究 <sup>5)-8)</sup>
$R_0$	1.5	先行研究 <sup>5)</sup>
感染確率の分布		先行研究 <sup>5), 11)</sup>
潜伏期間の分布		先行研究 <sup>5)</sup>
前駆期間の分布		先行研究 <sup>5)</sup>
発症期間の分布		先行研究 <sup>5)</sup>
初発患者数	1000	先行研究 <sup>7)</sup>
感受性人口	3000 万人	先行研究 <sup>10)</sup>
mass vaccination		
公衆衛生資源	5000	先行研究 <sup>7)</sup>
接種人数 (／人日)	200	先行研究 <sup>7)</sup>
ring vaccination		
接触人数	50	先行研究 <sup>7)</sup>
隔離率 (発症者)	0.5	先行研究 <sup>5)</sup>
接触者捕捉効率	1	仮定
接種人数 (／人日)	200	仮定

Note: 接触者捕捉効率 1 は、公衆衛生資源一人当たり 20.0 人／日を意味する。

表 2： 介入モデルの諸設定

変数	設定	出典
$R_0$	1-10	先行研究 <sup>5)-8), 11)</sup>
介入開始日	30, 45, 60	先行研究 <sup>5)</sup>
初発患者数	1-10000	仮定
接触者捕捉効率	1, 1/100	仮定

Note: 介入開始日は初発患者が曝露された日からの日数。



表3：集団接種による罹患者数予測

R <sub>0</sub>	初発感染者数	介入開始日	3ヶ月後	半年後	1年後	ワクチン接種人数
1	1	30	3.17	3.17	3.17	2.83x10 <sup>7</sup>
1	1	45	4.04	4.05	4.05	2.83x10 <sup>7</sup>
1	1	60	4.80	4.91	4.91	2.83x10 <sup>7</sup>
3	1	30	23.9	23.9	23.9	2.93x10 <sup>7</sup>
3	1	45	66.9	69.1	69.1	2.94x10 <sup>7</sup>
3	1	60	156	197	197	2.95x10 <sup>7</sup>
5	1	30	98.7	100	100	2.95x10 <sup>7</sup>
5	1	45	441	481	481	2.96x10 <sup>7</sup>
5	1	60	1.47x10 <sup>3</sup>	2.31x10 <sup>3</sup>	2.31x10 <sup>3</sup>	2.96x10 <sup>7</sup>
10	1	30	1.04x10 <sup>3</sup>	1.10x10 <sup>3</sup>	1.10x10 <sup>3</sup>	2.97x10 <sup>7</sup>
10	1	45	8.68x10 <sup>3</sup>	1.12x10 <sup>4</sup>	1.12x10 <sup>4</sup>	2.97x10 <sup>7</sup>
10	1	60	4.54x10 <sup>4</sup>	1.12x10 <sup>5</sup>	1.12x10 <sup>5</sup>	2.96x10 <sup>7</sup>
1	1000	30	3.17x10 <sup>3</sup>	3.17x10 <sup>3</sup>	3.17x10 <sup>3</sup>	2.94x10 <sup>7</sup>
1	1000	45	4.04x10 <sup>3</sup>	4.05x10 <sup>3</sup>	4.05x10 <sup>3</sup>	2.94x10 <sup>7</sup>
1	1000	60	4.80x10 <sup>3</sup>	4.91x10 <sup>3</sup>	4.91x10 <sup>3</sup>	2.94x10 <sup>7</sup>
3	1000	30	2.38x10 <sup>4</sup>	2.39x10 <sup>4</sup>	2.39x10 <sup>4</sup>	2.96x10 <sup>7</sup>
3	1000	45	6.67x10 <sup>4</sup>	6.89x10 <sup>4</sup>	6.89x10 <sup>4</sup>	2.96x10 <sup>7</sup>
3	1000	60	1.55x10 <sup>5</sup>	1.95x10 <sup>5</sup>	1.95x10 <sup>5</sup>	2.94x10 <sup>7</sup>
5	1000	30	9.81x10 <sup>4</sup>	9.93x10 <sup>4</sup>	9.93x10 <sup>4</sup>	2.96x10 <sup>7</sup>
5	1000	45	4.30x10 <sup>5</sup>	4.66x10 <sup>5</sup>	4.66x10 <sup>5</sup>	2.92x10 <sup>7</sup>
5	1000	60	1.39x10 <sup>6</sup>	2.01x10 <sup>6</sup>	2.01x10 <sup>6</sup>	2.77x10 <sup>7</sup>
10	1000	30	9.57x10 <sup>5</sup>	1.00x10 <sup>6</sup>	1.00x10 <sup>6</sup>	2.88x10 <sup>7</sup>
10	1000	45	5.58x10 <sup>6</sup>	5.96x10 <sup>6</sup>	5.96x10 <sup>6</sup>	2.38x10 <sup>7</sup>
10	1000	60	1.54x10 <sup>7</sup>	1.60x10 <sup>7</sup>	1.60x10 <sup>7</sup>	1.38x10 <sup>7</sup>



表4：追跡接種による罹患者数予測（接触者捕捉効率1）

者数	介入開始日	3ヶ月後	半年後	1年後	ワクチン接種
	30	1.84	1.84	1.84	46.2
1	1	45	2.72	2.72	48.5
1	1	60	3.60	3.60	49.5
3	1	30	3.82	3.82	140
3	1	45	11.7	11.7	395
3	1	60	34.1	34.1	1.12x10 <sup>3</sup>
5	1	30	6.21	6.21	244
5	1	45	30.6	30.6	1.15x10 <sup>3</sup>
5	1	60	147	147	5.52x10 <sup>3</sup>
10	1	30	14.0	14.0	549
10	1	45	143	143	5.47x10 <sup>3</sup>
10	1	60	1.45x10 <sup>3</sup>	1.45x10 <sup>3</sup>	5.53x10 <sup>4</sup>
1	1000	30	1.84x10 <sup>3</sup>	1.84x10 <sup>3</sup>	4.62x10 <sup>4</sup>
1	1000	45	2.72x10 <sup>3</sup>	2.72x10 <sup>3</sup>	4.85x10 <sup>4</sup>
1	1000	60	3.60x10 <sup>3</sup>	3.60x10 <sup>3</sup>	4.95x10 <sup>4</sup>
3	1000	30	3.82x10 <sup>3</sup>	3.82x10 <sup>3</sup>	1.40x10 <sup>5</sup>
3	1000	45	1.17x10 <sup>4</sup>	1.17x10 <sup>4</sup>	3.95x10 <sup>5</sup>
3	1000	60	3.41x10 <sup>4</sup>	3.41x10 <sup>4</sup>	1.12x10 <sup>6</sup>
5	1000	30	6.21x10 <sup>3</sup>	6.21x10 <sup>3</sup>	2.44x10 <sup>5</sup>
5	1000	45	3.06x10 <sup>4</sup>	3.06x10 <sup>4</sup>	1.15x10 <sup>6</sup>
5	1000	60	1.47x10 <sup>5</sup>	1.47x10 <sup>5</sup>	5.50x10 <sup>6</sup>
10	1000	30	1.40x10 <sup>4</sup>	1.40x10 <sup>4</sup>	5.49x10 <sup>5</sup>
10	1000	45	1.42x10 <sup>5</sup>	1.42x10 <sup>5</sup>	5.46x10 <sup>6</sup>
10	1000	60	3.19x10 <sup>6</sup>	3.19x10 <sup>6</sup>	2.44x10 <sup>7</sup>



表5：追跡接種による罹患者数予測（接触者捕捉効率 1/100）

感染者数	介入開始日	3ヶ月後	半年後	1年後	ワクチン接種	
		30	1.84	1.84	1.84	46.2
1	1	45	2.72	2.72	2.72	48.5
1	1	60	3.60	3.60	3.60	49.5
3	1	30	3.82	3.82	3.82	140
3	1	45	11.7	11.7	11.7	395
3	1	60	34.1	34.1	34.1	1.12x10 <sup>3</sup>
5	1	30	6.21	6.21	6.21	244
5	1	45	30.6	30.6	30.6	1.15x10 <sup>3</sup>
5	1	60	147	147	147	5.52x10 <sup>3</sup>
10	1	30	14.0	14.0	14.0	549
10	1	45	143	143	143	5.47x10 <sup>3</sup>
10	1	60	1.45x10 <sup>3</sup>	1.45x10 <sup>3</sup>	1.45x10 <sup>3</sup>	5.53x10 <sup>4</sup>
1	1000	30	1.84x10 <sup>3</sup>	1.84x10 <sup>3</sup>	1.84x10 <sup>3</sup>	4.62x10 <sup>4</sup>
1	1000	45	2.72x10 <sup>3</sup>	2.72x10 <sup>3</sup>	2.72x10 <sup>3</sup>	4.85x10 <sup>4</sup>
1	1000	60	3.60x10 <sup>3</sup>	3.60x10 <sup>3</sup>	3.60x10 <sup>3</sup>	4.95x10 <sup>4</sup>
3	1000	30	4.34x10 <sup>3</sup>	4.34x10 <sup>3</sup>	4.34x10 <sup>3</sup>	1.64x10 <sup>5</sup>
3	1000	45	1.62x10 <sup>4</sup>	1.62x10 <sup>4</sup>	1.62x10 <sup>4</sup>	7.93x10 <sup>5</sup>
3	1000	60	6.26x10 <sup>4</sup>	6.30x10 <sup>4</sup>	6.30x10 <sup>4</sup>	3.31x10 <sup>6</sup>
5	1000	30	8.97x10 <sup>3</sup>	8.97x10 <sup>3</sup>	8.97x10 <sup>3</sup>	4.26x10 <sup>5</sup>
5	1000	45	1.04x10 <sup>5</sup>	1.05x10 <sup>5</sup>	1.05x10 <sup>5</sup>	5.58x10 <sup>6</sup>
5	1000	60	8.27x10 <sup>5</sup>	1.37x10 <sup>7</sup>	2.12x10 <sup>7</sup>	1.81x10 <sup>7</sup>
10	1000	30	1.31x10 <sup>5</sup>	2.63x10 <sup>5</sup>	2.65x10 <sup>5</sup>	1.37x10 <sup>7</sup>
10	1000	45	9.82x10 <sup>6</sup>	2.91x10 <sup>7</sup>	2.91x10 <sup>7</sup>	3.32x10 <sup>6</sup>
10	1000	60	1.98x10 <sup>7</sup>	2.92x10 <sup>7</sup>	2.92x10 <sup>7</sup>	6.91x10 <sup>5</sup>

付表

	分類記号
非接触感受性者（未接種者）	$S(t)$
非接触感受性者（接種者）	$S_v(t)$
治癒・死亡	$D(t)$
非感染接触者隔離（接種者）	$S_{qv}(s, t)$
非感染接触者隔離（未接種者）	$S_q(s, t)$
非感染接触者未隔離（感受性者）	$S_n(s, t)$
感染接触者未隔離潜伏期	$I_{1n}(s, t)$
感染接触者未隔離前駆期	$I_{2n}(s, t)$
感染接触者未隔離症状期	$I_{3n}(s, t)$
感染接触者隔離潜伏期（接種者）	$I_{1qv}(s, t)$
感染接触者隔離潜伏期（未接種者）	$I_{1q}(s, t)$
感染接触者隔離前駆期	$I_{2q}(s, t)$
感染接触者隔離症状期	$I_{3q}(s, t)$
$R_0$ /人口	$\beta$
追跡予防接種率	$\nu$
集団予防接種人数/日	$W$
接触者人数/日	$C$
患者捕捉率	$q$
接触者捕捉率	$r$
前駆期 $s$ 日目での感染性の分布	$p_{1s}(s)$
症状期 $s$ 日目での感染性の分布	$p_{2s}(s)$
潜伏期 $s$ 日目での前駆期への移行確率	$p_{1s}(s)$
前駆期 $s$ 日目での症状期への移行確率	$p_{2s}(s)$
症状期 $s$ 日目での死亡・快復への移行確率	$p_{3s}(s)$