

201525006B

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 25～27 年度 総合研究報告書

平成 28（2016）年 3 月

研究代表者 金谷泰宏

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

平成 25～27 年度 総合研究報告書

CBRNE 事態における公衆衛生対応に関する研究

研究代表者 金谷泰宏 国立保健医療科学院健康危機管理研究部

研究分担者

市川学 国立保健医療科学院健康危機管理研究部

石峯康浩 国立保健医療科学院健康危機管理研究部

山口一郎 国立保健医療科学院生活環境研究部放射線衛生

数藤由美子 独立行政法人放射線医学総合研究所生物線量評価研究チーム

齋藤大蔵 防衛医科大学校防衛医学研究センター外傷研究部門

高橋邦彦 名古屋大学大学院医学系研究科

高橋和郎 国際医療福祉大学

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

研究協力者

砂田向壱 モバイルホスピタルジャパン

山口芳裕 杏林大学医学部救急医学教室・高度救命救急センター

原田奈穂子 防衛医科大学校看護学科

石西正幸 東京工業大学・大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻

目次

3 ページ 総合研究報告書

CBRNE 事態における公衆衛生対応に関する研究

研究代表者 金谷泰宏 国立保健医療科学院健康危機管理研究部

10 ページ 分担研究報告書

放射性物質テロの脅威評価に関する研究

研究分担者

山口一郎 国立保健医療科学院生活環境研究部

15 ページ 分担研究報告書

大都市圏保健医療モデルの構築

研究分担者

市川 学 国立保健医療科学院健康危機管理研究部

石峯康浩 国立保健医療科学院健康危機管理研究部

齋藤大蔵 防衛医科大学校防衛医学研究センター外傷研究部門

研究協力者

石西正幸 東京工業大学・大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻

20 ページ 分担研究報告書

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

高橋和郎 大阪府立公衆衛生研究所

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

CBRNE 事態における公衆衛生対応に関する研究

研究代表者 金谷泰宏 国立保健医療科学院 健康危機管理研究部

研究要旨

わが国における CBRNE 事態への対応は「NBC テロその他大量殺傷テロへの対処について（平成 13 年 4 月 16 日、内閣危機管理監決裁 NBC テロ対策会議）」に沿って、国の対応が示めされているが、CBRNE 事案が発生した際の、原因物質の把握、被災者の除染、搬送、治療という各過程における国と地方自治体との具体的な連携のあり方まで触れられていない。本研究は、CBRNE 事態の発生に備えて、その公衆衛生対策を科学的に評価できるシミュレーションモデルの構築を行うとともに、健康危機事案の早期探知ならびに被災者・第一対応者の健康被害のアセスメント手法の開発を行った。

（研究分担者）

市川 学 国立保健医療科学院
健康危機管理研究部
石峯康浩 国立保健医療科学院
健康危機管理研究部
山口一郎 国立保健医療科学院
生活環境研究部
数藤由美子 放射線医学総合研究所
生物線量評価研究チーム
齋藤大蔵 防衛医科大学校
防衛医学研究センター外傷研究部門
高橋邦彦 名古屋大学大学院医学系研究科
高橋和郎 国際医療福祉大学
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

に沿って実施されることとされているが、本モデルは、あくまでも関係機関間の連携のあり方を示したものであり、CBRNE 事案が発生した際の、原因物質の把握、被災者の除染、搬送、治療という各過程における関係機関の具体的な対応まで触れられていない。このため、CBRNE 事態への対応は、自治体間で必ずしも統一されているわけではない。我々は、平成 21 年度より、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）バイオテロ以外の CBRNE テロ対策に対する効果的な対策の検証と国際連携ネットワークの活用に関する研究の中で、欧米における CBRNE 事態への医療・公衆衛生部門の対応について情報収集を行ってきたところである。この中で、米国職業安全健康局 (OSHA) が、2005 年に発表した「危険物による集団災害被災者の病院における初期医療対応者のための最善の取り組み」の中で、被災者及び初期対応者に対する除染、防護について、シミュレーションモデルを踏まえて最適な搬送手順を示すとともに、医療機関が備えるべき装備について示している。そこで、本研究において、特に、CBRNE テロの標的となりやすい大都市（東京都、大阪府）における医療サービスの流れを

A. 研究目的

わが国における CBRNE 事態への対応については「NBC テロその他大量殺傷テロへの対処について（平成 13 年 4 月 16 日、内閣危機管理監決裁 NBC テロ対策会議）」に沿って、国が対応を行うこととされている。一方、国と都道府県との連携については「NBC テロ対処現地関係機関連携モデル」

Agent Based Modeling (ABM) を用いてモデルを構築し、過去の地下鉄サリン事件（東京）、新型インフルエンザの流行（大阪）を基に事案発生時の保健医療行政の行動、被災者の行動をモデル上で再現させることで、保健医療対策の脆弱性を明らかにするものである。加えて、放射性物質を用いた事案では、被害の拡散と対策の遅れが伴うことから、諸外国における事故処理対策を踏まえ、保健医療行政及び医療機関を交えた図上演習等を行うことで、現行の連携モデルの課題を明らかにし、さらなる強靱な地域の健康危機管理体制を構築するための方向性を示すものである。

B. 研究方法

(1) 生物テロの早期探知手法の検討

東京都感染症発生動向調査に基づくインフルエンザ定点報告数を用いて、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う。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)を用いる。

(2) 化学テロ医療需要予測モデルの構築

都市近郊の二次医療圏にモデルを適用し、モデルの有効性の検証と対策を提示した。本モデルでは都市空間の境界設定として、二次医療圏内で閉じた空間を前提とした。救急搬送のルールとして、圏内の医療機関すべてが収容不可もしくは処置不可である場合の例外処理のために1つの「圏外医療機関」を設置することとした。圏外医療機関は救命救急センターなどの三次救急医療機関を想定し、全ての診療科を24時間開設すると設定した。基本となる都市モデルには、ArcGIS (ESRI ジャパン) から取得した地理情報を使用した。診療時間に関しては軽症10分、中等症30分、重症60分とした。また、発症確率 P1、救急車利用率 P2 は、それぞれ平成20年度患者調査および救急・救助の概要のデータを用いた。基本設定で使用す

る各パラメータとしては、公表されている統計情報を引用した。本モデルでは、この医療域における輪番制を基本設定のシナリオとして使用した。各医療機関の救急医療体制については公表データを使用した。シミュレーション中で行う距離計算に関しては、ノード間の直線距離を移動速度で除算した値を使用することとした。

(3) 放射性物質テロにおける外部被ばく線

量検査法に関する研究初期／一次対応者の健康管理に資する生物学的な被ばく線量評価システムを確立することを本研究の目的とする。初年度は検体受け入れ即日に大まかな線量評価が可能な未成熟凝縮二動原体染色体分析法 [prematurely condensed di-centric chromosome (PCDC) assay] を確立した。今年度は、より精度の高い線量評価法の開発をおこない、実際の初期対応者の検体を得て適用し、手法の評価をおこなった。具体的には、2011年3月～6月の間に東電福島原発事故および大震災に関連して福島県に派遣された自衛隊員について、同年7月～8月に防衛医大によって採取された血液検体を用い、従来の、二動原体染色体異常にもとづく線量評価（二動原体分析）をおこない、個人線量計の値と比較した。この手法では、被ばく後4週間以上経つと異常の出現頻度が減少し、被ばく線量を過小評価することになる。そこで我々は、被ばく後の経過時間に左右されない安定型染色体異常（転座染色体など）を指標とした新たな分析法（3-color FISH法）を開発し、同検体への適用を開始した。

(4) CBRNE テロシナリオの検討

CBRNE 事態発生後の公衆衛生対策を検証するにあたり、政府の対応については、「NBCテロその他大量殺傷テロへの対処について（平成13年4月16日、内閣危機管理監決裁NBCテロ対策会議）」を参考とした。

国と都道府県との連携については「NBCテロ対処現地関係機関連携モデル」に従い関係機関の対応の流れを整理する。

(倫理面への配慮)

防衛医科大学および放射線医学総合研究所研究倫理審査委員会の承認を得、インフォームドコンセントが得られたボランティアの血液試料およびデータを用いた。

C. 研究結果

本研究は、CBRNE 事態が発生した際における公衆衛生面からの対応について検証を行うものであり、“化学テロ”については、大量に発生する被災者をいかに適切、迅速に治療可能な医療機関に収容できるかを検証できるモデルの構築を目標としており、平成 25 年度においては、平時における災害医療シミュレーションモデルを構築し、平成 26 年度においては、地下鉄サリン事件における被害者の行動パターン、医療機関における対応状況を参考に当該モデルにおいて、被害者が医療機関に収容されるまでの動きの再現を行った。“生物テロ”に関しては、地域の感染症患者の集積を早期に捉える技術と実装を目標に、平成 25 年度においては感染症動向調査によって得られたデータを地理情報システム上に展開することを可能とし、平成 26 年度においては地域における患者集積を空間統計手法により発生早期で地域を捉えることが可能かについて検証を行った。“放射線テロ”については、被災者及び第一対応者が暴露した線量を迅速、正確に評価できる技術の実装を目標としており、従来法の二動原体染色体分析法に代わる改良 PCC 法(PCDC 法)の確立を平成 25 年度より進めており、血液検体受け入れ後 60 時間以上を要していたものを約 6 時間で二動原体分析ができるまで短縮することに成功した。この方法は遺伝子・タンパク発現変動に基づく手法などと異なり血液検体採取のタイミング(被ばく後経過時間)に左右されないこともわかった。また、迅速・正確な 3-color FISH による染色体異常分析法を用いて、緊急時の被ばく

線量上限 250 mGy を考慮した低線量域(0~300 mGy)レファレンス線量効果曲線を確立した。

D. 考察

本研究は、CBRNE 事態が発生した際における公衆衛生面からの対応について検証を行うものであるが、化学、生物、放射線テロのそれぞれにおいて取るべき対策は大きく異なることから、研究として個別の特性に応じた課題の設定が求められる。このため、本研究では、化学テロについては大量に発生する被災者をいかに適切かつ迅速に治療可能な医療機関に収容できるかを検証できるモデルを構築し、急性期の医療対応の歪みを明確にすることができた。また、生物テロに関しては、これまでの研究の多くが、SIR モデルに基づくシミュレーションの構築を行ってきたが、社会活動をコンピューター上に詳細に再現することは難しく、仮にモデルを構築できたとしても、天然痘、ペスト等の感染症については、モデルの正確性を検証するための近代都市におけるパラメータが不足している。そこで、生物テロ対策に関する社会医学研究の方向性として、感染拡大を予測する技術ではなく、地域の感染症患者の集積を早期に捉える技術の開発と実装が急務であると考えている。本研究では、感染症動向調査によって得られたデータを地理情報システム上に展開し、地域における患者集積を空間統計手法により発生早期で地域を捉える技術を開発し、実装できる段階まで精度を高めることができた。放射線テロ災害については、2011 年の福島第一原発事故に見られるように、被災者及び第一対応者が暴露した線量を迅速かつ正確に評価する必要がある。従来法の二動原体染色体分析法では、トリアージ・レベルの線量評価に、血液検体受け入れ後 60 時間以上を要するとされているが、ペプチド核酸プローブを用いた蛍光 in situ ハイブリダイゼーション(FISH)法を併用した改良 PCC 法(PCDC 法)の導入により、約 6 時間で二動原体分析ができる

ことを示した。この方法は血液検体採取のタイミング（被ばく後経過時間）に左右されないので、実際の事故対応において非常に有用となる。また、3-color FISHによる染色体異常分析法は迅速・正確であるだけでなく、安定型染色体異常を指標にすれば長期追跡調査や過去の被ばく事故線量調査にも適用できる。本研究で確立したレファレンス線量効果曲線は、職業被ばくの健康管理法の改善に資するといえる。今後、個体差の調査を行い、高精度化する。

E. 結論

CBRNE 事態への対応は、化学、生物、放射線のそれぞれの特性に応じて大きく異なる。本研究においては、これらの事案に総合的に対応するため、化学テロ災害に対しては、大量傷病者の収容に向けたシミュレーションモデルの構築を進め、生物テロに対しては、集積地域を早期に探知するための空間統計手法の検証をパンデミックの情報を用いて検証を行った。放射線テロ災害については、福島第一原子力発電所事故における第一対応者の被ばく量を線量計と生物線量評価を用いて検証を行うことで、迅速かつ正確な被ばく量評価のための検査態勢を整えるための技術的な信頼性を担保することができた。

F. 健康危険情報

該当事項無し。

G. 研究発表

1) 国内

口頭発表	20 件
原著論文による発表	3 件
それ以外（レビュー等）の発表	2 件
そのうち主なもの	
論文発表	

(1) 市川学, 春日雄翔, 出口弘, 金谷泰宏. 二次医療圏における夜間救急医療モデルの構築とそ

の利用. システム制御情報学会論文誌. 27(7):259-267, 2014.

(2) 石西正幸, 市川学, 田沼英樹, 出口弘, 金谷泰宏. エージェントベースシミュレーションによる高い致死性を持つ感染症対策におけるリスク分析手法の提案. システム制御情報学会論文誌. 27(7):319-325, 2015.

(3) 金谷泰宏, 鶴和美穂, 原田奈穂子. 災害時における保健所職員の健康危機管理能力強化に向けた教育と訓練. Japanese Journal of Disaster Medicine. 20: 255-261, 2015.

(4) 金谷泰宏. 災害時の地域保健、地域防災計画について. 災害時の歯科保健医療対策～連携と標準化に向けて～ 2015.6. 20-23

(5) 金谷泰宏. 災害における公衆衛生活動の支援体制. 公衆衛生領域における連携と協働～理念から実現に向けて～ 平成 27 年 10 月 161-170.

学会発表

(1) 江藤亜紀子, 齋藤智也, 横手公幸, 金谷泰宏. 天然痘ワクチン LC16m8 接種により誘導される抗体プロファイルと中和抗体価との関連についての解析. 第 17 回日本ワクチン学会学術集会; 2013 年 11 月; 三重:102

(2) 金谷泰宏, 原田奈穂子, 鶴和美穂. 大規模災害に向けた公衆衛生専門家の教育訓練の在り方. 第 73 回日本公衆衛生学会総会; 2014 年 11 月; 栃木. 日本公衆衛生雑誌. 2014; 61 (10 特別付録):91

(3) 中瀬克己, 遠藤幸男, 緒方剛, 佐々木隆一郎, 古屋好美, 竹内俊介, 高岡道雄, 小窪和博, 竹ノ内直人, 米山克俊, 金谷泰宏, 林修一郎, 河本幸子. 健康危機における保健所の調整機能の強化. 第 73 回日本公衆衛生学会総会; 2014 年 11 月; 栃木. 日本公衆衛生雑誌. 2014; 61 (10 特別付録):251

(4) 古屋好美, 石田久美子, 古畑雅一, 池田和功, 土屋久幸, 白井祐二, 津金永二, 雨宮文明, 小松仁,

金谷泰宏. 医療サーージ対策・対応における保健所の役割と課題. 第 73 回日本公衆衛生学会総会; 2014 年 11 月; 栃木. 日本公衆衛生雑誌. 2014; 61 (10 特別付録):251

(5) 鶴和美穂, 金谷泰宏, 江川新一. 災害における公衆衛生の今後の課題. 第 73 回日本公衆衛生学会総会; 2014 年 11 月; 栃木. 日本公衆衛生雑誌. 2014; 61 (10 特別付録):252

(6) 江藤亜紀子, 齋藤智也, 西山靖将, 横手公幸, 金谷泰宏. 種痘による長期免疫に寄与する抗原の同定および LC16m8 株接種に対する影響についての解析. 第 18 回日本ワクチン学会学術集会; 2014 年 12 月; 福岡: 130.

(7) 金谷泰宏. 我が国の健康危機管理対策の現状と課題. 第 74 回日本公衆衛生学会総会; 2015 年 11 月; 長崎. 日本公衆衛生雑誌. 2015; 62 (10 特別付録):62

(8) 古屋好美, 古畑雅一, 池田和功, 田上豊資, 山田全啓, 大橋俊子, 中里栄介, 土屋久幸, 石田久美子, 遠藤幸男, 山中朋子, 宇田英典, 近藤久禎, 金谷泰宏, 中瀬克己. 健康危機管理機能充実のための保健所を拠点とした危機管理調整システム構築. 第 74 回日本公衆衛生学会総会; 2015 年 11 月; 長崎. 日本公衆衛生雑誌. 2015; 62 (10 特別付録):462

(9) 中島一敏, 砂川富正, 大石和徳, 谷口清州, 齋藤智也, 緒方剛, 山口亮, 中瀬克己, 三崎貴子, 鈴木智之, 調恒明, 加來浩器, 杉下由行, 窪田邦宏, 金谷泰宏. 我が国の健康危機管理でイベントベースサーベイランスは必要かーワークショップ報告. 第 74 回日本公衆衛生学会総会; 2015 年 11 月; 長崎. 日本公衆衛生雑誌. 2015; 62 (10 特別付録):462

(10) 金城由美子, 中島一敏, 吉田眞紀子, 砂川富正, 八幡裕一郎, 鈴木智之, 谷口清州, 緒方剛, 金谷泰宏, 齋藤智也, 角野文彦, 押谷仁, 神垣太郎, 加來浩器. 我が国の健康危機管理における EBS の効果的な研修のあり方ー研修前後アンケート調査.

第 74 回日本公衆衛生学会総会; 2015 年 11 月; 長崎. 日本公衆衛生雑誌. 2015; 62 (10 特別付録):462

(11) 中瀬克己, 犬塚君雄, 遠藤幸男, 佐々木隆一郎, 菅原智, 前田秀雄, 田上豊資, 坂元昇, 金谷泰宏, 近藤久禎, 尾島俊之, 宮崎美砂子. 大規模災害従事者自身の健康保持に関する研修方策の検討. 第 74 回日本公衆衛生学会総会; 2015 年 11 月; 長崎. 日本公衆衛生雑誌. 2015; 62 (10 特別付録):463

(12) 鶴和美穂, 近藤久禎, 金谷泰宏, 中里栄介, 中瀬克己, 古谷好美, 宇田英典. 大規模災害時における保健行政と災害医療体制との連携構築に向けた検討. 第 74 回日本公衆衛生学会総会; 2015 年 11 月; 長崎. 日本公衆衛生雑誌. 2015; 62 (10 特別付録):465

(13) 出口弘, 金谷泰宏, 市川学, 石峯康浩, 唱爽. 大規模災害時の保健医療活動支援に関わる情報の利活用技術. 第 74 回日本公衆衛生学会総会; 2015 年 11 月; 長崎. 日本公衆衛生雑誌. 2015; 62 (10 特別付録):466

(15) 池川 (田辺) 麻衣, 市川学, 金谷泰宏, 出口弘. 被災者情報の共有による保健医療リソース活用の効率化に関する研究. 第 74 回日本公衆衛生学会総会; 2015 年 11 月; 長崎. 日本公衆衛生雑誌. 2015; 62 (10 特別付録):466

(16) 菊池香, 市川学, 出口弘, 金谷泰宏. 災害時における避難所支援のための資源配分方法の検討. 第 74 回日本公衆衛生学会総会; 2015 年 11 月; 長崎. 日本公衆衛生雑誌. 2015; 62 (10 特別付録):466

(17) 江藤亜紀子, 齋藤智也, 横手公幸, 金谷泰宏. 天然痘ワクチン初回接種時の抗体産生応答に関する日米研究の比較. 第 19 回ワクチン学会学術集会; 2015 年 11 月; 愛知. プログラム・抄録集 p103

(18) 市川学, 出口弘, 金谷泰宏. 災害時保健医療活動支援のための被害状況推計システム. 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会

2015; 2015年11月; 函館

(19)石西正幸,市川学,石峯康浩,金谷泰宏. エージェントベースモデリングによる大規模災害に伴う大量傷病者の救急搬送モデルの構築. 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2015; 2015年11月; 函館

(20) 菊池香,市川学,出口弘,金谷泰宏. 災害時における避難所支援のための需要推計モデルの構築. 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2015; 2015年11月;函館

2) 海外

口頭発表 3件

原著論文による発表 8件

それ以外(レビュー等)の発表 1件

そのうち主なもの

論文発表

(1) Tomizuka T, Kanatani Y, Kawahara K. Insufficient preparedness of primary care practices for pandemic influenza and the effect of a preparedness plan in Japan: a prefecture-wide cross-sectional study. BMC Family Practice. 14(1): 174, 2013.

(2) Nakayama T, Fujita M, Ishihara M, Ishihara M, Ogata S, Yamamoto Y, Shimizu M, Maehara T, Kanatani Y, Tachibana S. Improved survival rate by temperature control at compression sites in rat model of crush syndrome. Journal of Surgical Research 188(1): 250-9, 2014.

(3) Watanabe S, Fujita M, Ishihara M, Tachibana S, Yamamoto Y, Kaji T, Kawauchi T, Kanatani Y. Protective effect of inhalation of hydrogen gas on radiation-induced dermatitis and skin injury in rats. Journal of radiation research. 55(6): 1107-13, 2014

(4) Nishiyama Y, Matsukuma S, Matsumura T, Kanatani Y, Saito T. Preparedness for a

Smallpox Pandemic in Japan: Public Health Perspectives. Disaster Medicine and Public Health Preparedness. 9(2): 220-223, 2015.

(5) Ochi S, Kato S, Kobayashi K, Kanatani Y. Disaster Vulnerability of Hospitals: A Nationwide Surveillance in Japan. Disaster Medicine and Public Health Preparedness. 9(6): 614-8. 2015.

(6)Nishiyama Y, Fujii T, Kanatani Y, Shinmura Y, Yokote H, Hashizume S. Freeze-dried live attenuated smallpox vaccine prepared in cell culture "LC16-KAKETSUKEN": Post-marketing surveillance study on safety and efficacy compliant with Good Clinical Practice. Vaccine. 33(45): 6120-7, 2015.

(7)Nguyen M, Deguchi H, Ichikawa M, Saito T, Fujimoto S. An Analysis on risk of influenza-like illness infection in a hospital using agent-based simulation. Public Health Frontier, 2014 Vol.3 Iss. 3, PP.63-74.

(8)Eto A, Saito T, Yokote H, Kurane I, Kanatani Y. Recent advances in the study of live attenuated cell-cultured smallpox vaccine LC16m8. Vaccine. 33(45):6106-11, 2015.

(9)Suto Y, Gotoh T, Noda T, Akiyama M, Owaki M, Darroudi F, Hirai M. Assessing the applicability of FISH-based prematurely condensed dicentric chromosome assay in triage biodosimetry. Health Physics 108(3): 371-376, 2015.

(10)Suto Y, Akiyama M, Noda T, Hirai M. Construction of a cytogenetic dose-response curve for low-dose range gamma-irradiation in human peripheral blood lymphocytes using three-color FISH. Mutat. Res. 794: 32-38, 2015.

学会発表

(1)Kanatani Y. Prevention of chronic diseases after disaster: importance of nutrition. In: Proceedings and Abstracts 8th Asia Pacific Conference on Clinical Nutrition; 2013 June 9-12; Chiba, Japan; 2013. p.48.

(2)Kanatani Y. Responses of the Ministry of Health, Labour and Welfare to the Great East Japan Earthquake. 12th Asian Congress of Nutrition; 2015 May; Yokohama, Japan.

(3)Ichikawa M, Kimura Y, Tanabe M, Deguchi H, Kanatani Y. Gaming Simulation for Disaster Risk Management in JAPAN. Proceedings of the 46th International Simulation And Gaming Association Annual Conference ; 2015 July ; Kyoto, Japan.

(4)Oestreicher U, Ainsbury E, Baeyens A, Barrios L, Beinke C, Beukes P, Cucu A, De Amicis A, De Sanctis A, Di Giorgio M, Dominguez I, Duy PN, Espinoza M, Monteiro Gil O, Gregoire E, Guerrero-Carvajal C, Hadjidekova V, Kulka U, Lamadrid AI, Lindholm C, Lumniczky K, Martinez-Lopez W, M' kacher R, Moquet J, Montoro A, Moreno M, Noditi M, Palitti F, Pajic J, Samaga D, Slabbert J, Sommer S, Stuck Oliveira M, Suto Y, Testa A, Valdivia P, Vral A, Zafiroopoulos D, Wilkins R, Yanti L, Wojcik A. Inter-laboratory comparison on the dicentric chromosome assay in the frame of the European Network of Biodosimetry - RENEB. ConRad 2015; 2015 May; Munic, Germany.

(5)Suto Y, Akiyama M, Noda T, Owaki M, Kobashi G, Hirai M. Constructing a cytogenetic dose-response curve for low-dose range gamma irradiation by 3-color FISH. 15th International Congress of Radiation Research. 2015 May; Kyoto, Japan.

(6)Suto Y. A methodological overview of radiation cytogenetic research at NIRS after

Fukushima. CEA/DSV-NIRS Workshop on treatment of contamination and dose assessment. 2015 June; Fontenay-aux-Roses, France. [Invited by CEA]

(7)Suto Y. Biodosimetry and international network. IAEA/NIRS Technical Meeting: Future of biodosimetry in Asia: Promoting a regional network. IAEA, NIRS. 2015 September; Chiba, Japan. [Invited by IAEA]

(8)Suto Y. A Methodological Overview of Radiation Cytogenetic Research at NIRS after Fukushima. IAEA/NIRS Technical Meeting: Future of biodosimetry in Asia: Promoting a regional network. IAEA, NIRS. 2015 September; Chiba, Japan. [Invited by IAEA]

(9)Suto Y. Biological dosimetry during and after the Fukushima accident. 14th International Workshop on Radiation Damage to DNA. AINSE, IARR. 2016 March; Melbourne, Australia. [Invited]

H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

1. 特許取得
該当事項無し。
2. 実用新案登録
該当事項無し。
3. その他
該当事項無し。

放射性物質テロの脅威を低減するための線源管理のあり方に関する研究

研究分担者：山口一郎 国立保健医療科学院生活環境研究部

研究要旨

CBRNE 事態の発生に備えて、放射性物質テロの影響やその軽減策を検討した。影響が大きいと考えられる放射性物質テロとして、医療機関の区分1の線源が攻撃された場合が考えられ、それが医療機関内で攻撃を受けた場合でも、相当の影響を受けることが想定された。これらの線源は使用されないことが多くなりつつあり、その脅威を減らすための対策が求められる。放射性物質テロに類似した例としては韓国の医療機関から線源が盗取された事例や東京都内の公園で発生した線源発生事例があり、その対応を整理し、訓練のためのシナリオを作成した。

A. 研究目的

わが国における CBRNE 事態への対応については「NBC テロその他大量殺傷テロへの対処について（平成 13 年 4 月 16 日、内閣危機管理監決裁 NBC テロ対策会議）」に沿い、関係省庁が行うことになる。ここで、国と都道府県との連携については「NBC テロ対処現地関係機関連携モデル」に沿って実施されることとされているが、CBRNE 事案が発生した際の、原因物質の把握、被災者の除染、搬送、治療という各過程における関係機関の具体的な対応まで触れられておらず、放射性物質テロに対する自治体の対応が課題となっている。

そこで、放射性物質を用いたテロ(N・R)の影響やその軽減策を検討した。

B. 研究方法

放射性物質を用いたテロ最も深刻な事態を引き起こすと考えられる事態の一つである医療機関に存在する区分1の線源が攻撃された場合の影響や線量を低減するための対策の効果を推計した。また、放射性物質テロに類似

した例として韓国の医療機関から線源が盗取された事例や東京都内の公園で発生した線源発生事例がある。それらの行政側の対応を整理し、行政職員の訓練のためのシナリオを作成した。

（倫理面への配慮）

本研究に個人の人権に関わる事項は含まれない。自治体での事例対応での説明会参加者へのアンケートは行政上の目的で実施した。

C. 研究結果

医療機関の区分1の線源の放射エネルギーが大きいことから、それが医療機関内で攻撃を受けた場合でも、相当の影響を受けることが想定され、その対応が困難になると考えられた。

韓国の医療機関から線源が盗取された事例は、悪意ある線源盗取事件であり(1998年)、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額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

込まれたものであり、関係機関で連携した対応がとられた。東京都内の公園で発生した線源発生事例 (Ra-226, 37MBq) は、社会の関心を集め、広く報道され豊島区役所では全庁的な対応が求められることになった。このため、豊島区では、他機関とも連携した活動が展開された。この展開において、本院では専門の各機関だけではなく東京都の関連部署とも連携し、区役所内での保健所の活動ともに実践し、区民向けの説明会・個別相談会や説明資料作成、職員研修などを対応した。自治体職員は、その話し合いの場のファシリテーターとして貢献し、住民との対話がなりたつた。このことは、突発的な事例への対応の観点では、自治体職員が果たすべき役割を考えた外部支援も巻き込む対応（協働していく）が現実的であることを示唆するものと思われる。

放射性物質が用いられたテロ災害を想定した机上訓練モデル・シナリオでは、何処まで想像すればよいのか？が課題となる。

「何処まで想像すれば、危機管理対策として十分なのか」は、原子力の世界でも常に問い返さなくてはならない問題である。恐らく、ステークホルダーの合意点を探りながら対策を考えるのであろう。」(鈴木元)放射線事故医療研究会会報 (平成 20 年 9 月 6 日発行)

作成したシナリオの特徴は、実例に基づき、日常的にありそうなエピソードをシナリオに織り込み、臨場感を持たせた。これは、これまでの緊急被ばく医療での訓練シナリオが、現実感が乏しい（あるいは、想定するパターンを限定していた）ものと受け止められ、訓練の成果を十分に得ることの妨げになっていたとも考えられることの反省に立っている。つまり、トレーニングの不十分さが、東京電力福島原発事故での医療機関での W B C (whole body counter) の準備状況、GMサーベイメータによるスクリーニング基準の意

義の理解、放射線の線量の相場観の醸成の欠如につながっていたとの反省に基づいている。また、東電福島原発事故後の対応を踏まえ、リスク・コミュニケーションにも重点を置き、リスク社会(Ulrich Beck)における公衆衛生活動のあり方を模索するものとした。このシナリオに限らず、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、治療を受けることや 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るような想定も訓練シナリオとできるだろう。

D. 考察

区分 1 の線源でセキュリティレベル A が要求される線源は、我が国では、医療機関が最も多い。このことから、国民保護計画に基づく放射線源を用いたテロへの対応訓練は医療機関の線源を想定し、それが医療機関外に持ち出されるシナリオで実施された。このうち輸血用血液照射装置に用いられる Cs-137 は、医療機関で使用されなくなりつつある一方で、使用しなくなった場合の対応が課題となっている。行政代執行での対応には限界があるとも考えられ、諸外国や他分野での取り組みを参考にした検討を深める必要がある。

より深刻な事態は、輸血部が低層階にあり、その上部に病室がある構造の医療機関が攻撃を受けた場合で、このような事態が生じた場合には、医療機関や所轄の消防署を超えた外部による強力な支援が求められると考えられる。

放射線問題に対する地域保健活動の展開においても、豊島区の公園でラジウム線源が発見された事例やこれまでの原発事故対応で展開されてきた、リスク・コミュニケーションの基本的な考え方や健康危機事象でのメンタ

ルヘルス対応の基本を踏まえたアプローチが有用であると考えられ、関係機関での連携した取り組みが健康危機対応でも求められる。

E. 結論

放射性物質テロへの自治対応のあり方を検討する材料として、訓練のためのシナリオを作成した。

もっとも影響が大きいと考えられる放射性物質テロは、医療機関の区分1の線源が攻撃された場合である。それが医療機関内で攻撃を受けた場合でも、相当の影響を受けることが想定される。これらの線源は使用されなくなりつつあるので、この脅威を軽減させるための手立てとして社会的な制度構築が求められる。

東京都豊島区の公園で線源が発見された事例への保健所の対応は、行政対応のモデルになると考えられた。

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

発表者名. 題名. 学会名. 発表地, 発表日.

- 1) Ichiro Yamaguchi, Hitoshi Sato, Hiroshi Yoshii, Tsuyoshi Hamano. Preliminary trial of neutron dosimetry of extracted tooth using L band EPR. 41st Annual ISOTT Meeting & EPR 2013, 2013.6.22-28: Hanover, NH, USA.
- 2) Michitaka Umakoshi, Minoru Miyake, Ichiro Yamaguchi, Hiroshi Hirata, Naoki Kunugita, Yoshiro Matsui, Benjamin Williams, Harold Swartz. Radiation induced signal dependence on measurement position and enamel

thickness for human incisor teeth. 41st Annual ISOTT Meeting & EPR 2013, 2013.6.22-28: Hanover, NH, USA.

- 3) Minoru Miyake, Ichiro Yamaguchi, Michitaka Umakoshi, Hiroshi Hirata, Naoki Kunugita, Yoshiro Matsui, Benjamin Williams and Harold Swartz. In-vivo radiation dosimetry using L band EPR - The measurement from volunteers in FUKUSHIMA Prefecture, Japan - 41st Annual ISOTT Meeting & EPR 2013, 2013.6.22-28: Hanover, NH, USA.
- 4) Ichiro Yamaguchi, Minoru Miyake, Hitoshi Sato, Hiroshi Yoshii, Tsuyoshi Hamano, Masaharu Hoshi, Hiroshi Hirata, Naoki Kunugita. L band EPR tooth dosimetry for neutron and heavy ion. U19 DART-DOSE CMCR ANNUAL MEETING. 2014.6.24-26: NH, USA.
- 5) Yamaguchi I, Kunugita N, Shimura T, Terada H, Point/Counterpoint discussion: Fukushima risk communication strategy 2- Public health activities in local communities. ISEE 2015.8.30-9.3: Sao Paulo, Brazil.
- 6) Nakai Y, Miyake M, Yamaguchi I, Hirata H, Kunugita N, Williams B and Swartz HM. Comparison of noise due to environmental in EPR measurement. BioDose 2015. October 4-8, 2015 Hanover, NH, USA
- 7) Miyake M, Nakai Y, Yamaguchi I, Hirata H, Kunugita N, Williams B and Swartz HM. In-vivo radiation dosimetry using portable L band EPR -On-site measurement from volunteers in FUKUSHIMA Prefecture, Japan - BioDose 2015. October 4-8, 2015

Hanover, NH USA

- 8) Yamaguchi I, Sato H, Kawamura H, Hamano T, Suda M, Yoshii H, Miyake M, Nakai Y, Hirata H, Kunugita H. L-band EPR tooth dosimetry for neutron and heavy ion. BioDose 2015. October 4-8, 2015 Hanover, NH, USA
- 9) 三宅 実, 馬越 通崇, 山口 一郎, 岩崎 昭憲, 澤井 史, 南 佑子, 三木 武寛, 小川 尊明, 大林 由美子, 松井 義郎. 生体 EPR(電子常磁性体共鳴法)を用いた放射線被ばく線量測定 福島在住のボランティアからの計測. 第 68 回日本口腔科学会; 2014 年 5 月; 東京. 日本口腔科学会雑誌 2014; 63: 81.
- 10) 馬越 通崇, 三宅 実, 岩崎 昭憲, 澤井 史, 三木 武寛, 川畑 知広, 今川 尚子, 小川 尊明, 大林 由美子, 松井 義郎, 平田 拓, 山口 一郎. EPR(Electron Paramagnetic Resonance 電子常磁性共鳴法)線量推計に用いる口腔内新規共振器の感度評価. 第 68 回日本口腔科学会; 2014 年 5 月; 東京. 日本口腔科学会雑誌 2014; 63: 81.
- 11) 山口一郎. コミュニケーションの困難さとその克服の試み 地域保健医療福祉分野での原子力災害対策のあり方の検討 平成 25 年度の厚労科研特別研究での取り組み. 第 11 回日本放射線安全管理学会 6 月シンポジウム. ; 2014 年 6 月; 東京. 日本放射線安全管理学会誌 2014; 13:116-118.
- 12) 山口一郎. 原子力災害からの回復期における地域保健活動への外部支援とその課題. 第 13 回日本予防医学リスクマネジメント学会学術総会; 2015 年 3 月; 東京.
- 13) 前原 善昭, 木村 有美, 小泉 美都枝, 塚本 篤子, 藤淵 俊王, 山口 一郎, 渡邊 浩. 治療用加速器のメンテナンスを担当する技術者への情報提供活動は信頼関係作りに役立つ. 第 13 回日本放射線安全管理学会; 2014 年 12 月; 徳島. 日本放射線安全管理学会要旨集. p.154
- 14) 山口一郎, 佐藤 斉, 川村 拓, 濱野毅, 須田充, 吉井裕, 三宅実. 中性子照射した歯牙のインビボ EPR 信号の測定. 第 5 回共用施設 (PASTA&SPICE、NASBEE) 共同研究成果報告会. 2015.3.20:千葉
- 15) 山口一郎, 三宅実, 他. 歯を用いた L-band EPR による線量推計法の開発. 日本保健物理学会第 48 回研究発表会. 2015.7.2-3: 東京
- 16) 山口一郎, 佐藤斉, 川村拓, 濱野毅, 須田充, 吉井裕, 三宅実, 中井康博, 平田拓, 樺田尚樹. 歯を用いた L-band EPR による線量推計法の開発. 第 48 回 日本保健物理学会研究発表会; 2015 年 6 月; 東京. 日本保健物理学会研究発表会 要旨集. p.111
- 17) 山口一郎. 医療機関の状況について [特別セッション] RI の安全とセキュリティに関する情報共有 - これから求められる RI のセキュリティ対策について -. 第 52 回アイソトープ・放射線研究発表会; 2015 年 7 月; 第 52 回アイソトープ・放射線研究発表会要旨集.
- 18) 山口 一郎, 佐藤斉, 川村拓, 濱野毅, 須田充, 吉井裕, 三宅実, 中井康博, 平田拓, 樺田尚樹. 歯を用いた L-band EPR による線量推計法の基礎的な検討. 第 14 回日本放射線安全管理学会; 2015 年 12 月; 茨城. 日本放射線安全管理学会要旨集. p.67

3. その他

- 1) 山口一郎. 原子力災害時における公衆衛生対策 ~現状と課題~ 国立保健医療科学院

公開シンポジウム2015；2015年4月；
埼玉. 要旨集. p.6

- 2) 山口一郎. 放射線による身体影響の科学的整理と基準値の算定方法、放射線防護の考え方. 「放射線リスクの相場観 -社会的影響までを考慮した放射線防護の在り方-」. 技術士フォーラム2013；2013年11月；東京.同要旨集. 2013.
- 3) 山口一郎. 地域支援者への後方サポート(放射線リスク・コミュニケーション) - リスク・コミュニケーションはみんなの協働作業 -. チャイルドヘルス 2015;18:52-54
- 4) 山口一郎. 原子力災害後のリスク・コミュニケーション活動・不信の連鎖を解くために何ができるか? -. 筑波放射線安全交流会；2015年7月；茨城.
- 5) 山口一郎、栗原せい子、尾本由美子、原田美江子、櫻田尚樹. 東京都豊島区の公園で

線源が発見された事例への対応. 第13回日本放射線安全管理学会6月シンポジウムでのセッション「原子力災害後の地域での取り組み -公園での放射線源発見事例とも比較して、最近の現状と今後の課題を考える-」；2016年6月；東京(予定).

H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む.)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

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

分担研究報告書

エージェントベースモデリングによる大規模災害に伴う

大量傷病者の救急搬送モデルの構築

研究分担者 市川 学 国立保健医療科学院健康危機管理研究部

研究分担者 齋藤大蔵 防衛医科大学校防衛医学研究センター

研究分担者 石峯康宏 国立保健医療科学院健康危機管理研究部

研究協力者 石西正幸 東京工業大学・大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻

研究要旨： 大規模災害時においては、既存の入通院患者への対応にさらに上乗せで大量の傷病者の発生が見込まれる。加えて、このような事態においては、限られた医療資源での対応が求められることになる。特に、重症患者への対応については、それぞれの病態に応じた治療過程が求められることから、多数の重症患者が発生した場合、限られた医療資源（対応可能な専門医、搬送用の車両の確保、治療に要する医療資材等）をいかに有効に組み合わせるかが、生存率を左右することとなる。

A. 研究目的

地震、火災、風水害、及びCBR テロに代表される大規模災害等の激化は、クラッシュ症候群、熱傷、低体温、感染症、有機中毒等の急性障害を引き起こすことから、我が国・国民にとって大きな脅威である。大規模災害等では、既存の入通院患者に加え、発災により発生する大量の傷病者への対応が医療機関に求められ、特に重症患者に対しては、病態毎に応じた治療過程が求められる。しかしながら、対応可能な専門医、搬送用車両の確保、解毒剤や人工呼吸器等の治療に要する医療資材といった医療資源には限界があることから、これらの制約の中で医療資源の最適化を行うことが患者の生存率を左右することになる。

エージェントベースモデルによるシミュレーションを用いた大規模災害等の分析では、社会を構成する人の行動や生活様式を表現して計算機上で模倣することにより、大規模災害のマクロ的な被害規模の推定のみならず、原因の推定

や社会的対策の効果について理解することができ。我々は、エージェントベースモデルにより生物・化学テロにおける曝露、想定される疾病の病態遷移、被災（被害）者の行動についてモデル化するとともに、救急隊・医療機関によるトリアージ、搬送手段、医療機関の選択による被害発生時の適切な対応手段をモデル化し、シミュレーションにより、患者発生メカニズムと被害規模を推計するとともに、専門医、搬送用車両、医療資材の数量に代表される事前の医療資源に対する投資の評価の効果について検討している。

本稿は、化学テロの一つである地下鉄サリン事件を例に、化学テロにおける被害規模を評価できるモデルを構築し、被害発生時の対応手段の効果について、本モデルを用いて、リスク評価を行うものである。

B. 研究方法

B.1 地下鉄サリン事件の概要

地下鉄サリン事件は、1995年(平成7年)3月20日の午前、東京・営団地下鉄(現・東京メトロ)線内で発生した宗教団体のオウム真理教による同時多発テロ事件である。同事件では、化学兵器として使用される神経ガスのサリンが使用され、死者13名、負傷者約6300名の被害者を出した。当日午前8時ごろ、丸ノ内線では池袋方面及び荻窪方面の2編成、日比谷線では中目黒方面及び北千住方面の2編成、千代田線では代々木上原方面の1編成の計5編成の地下鉄車内において、図1に示される地点でサリンが散布された。



図1 地下鉄サリン事件時のサリン散布状況

走行中の車内でサリンが拡散されると、体調に異変が起こった乗客が倒れ、乗客に付着した・気化したサリンは他の駅にも拡散した。さらに救出に当たった駅員、消防隊員、警察官、救急隊員もサリンによる二次被害が発生した。サリン散布場所、地下鉄の運転終了駅、受傷者数、死者数は表1のとおり。

表1 地下鉄サリン事件の被害者の状況

路線	方面	受傷者	死者	備考
丸ノ内線	池袋	200	0	
丸ノ内線	荻窪	358	1	荻窪で池袋方面へ折り返し
日比谷線	中目黒	2475	8	小伝馬町で被害拡大
日比谷線	北千住	532	1	
千代田線	代々木上原	231	2	

その後、都内複数の病院へ患者が収容された。その中で、最も収容患者数の多い聖路加国際病

院においては、表2に示される搬送手段別の患者が収容された。

表2 サリン事件時における聖路加病院への受診手段

駅	徒歩	タクシー	自家用車	公用車	救急車	その他	計
小伝馬町	91	63	35	37	18	17	261
茅場町	9	6	3	4	2	1	25
八丁堀	11	7	4	4	2	3	31
築地	37	25	14	15	7	7	105
霞ヶ関	7	5	3	3	1	1	20
その他	19	14	8	8	5	2	56
計	174	120	67	71	35	31	498

3.2 モデル設計

本研究では、エージェントベースモデルにより乗客、駅員の行動、人口、及び交通機関をマイクロレベルでモデル化するとともに、シミュレーションの構築において、地下鉄サリン事件におけるサリン中毒の発症現象を社会シミュレーション言語 SOARS (Spot Oriented Agent Role Simulator) により記述する。モデル化に当たっては、SOARS の仕様から、人物を エージェント、相互作用の場である交通機関、都市構造をスポット、乗客、職業、及び患者などの社会的・病態的役割をロール、人物の行動をルール の集合体とした。また、シミュレーションでは、離散時間におけるエージェントの行動および状態遷移を複数の段階1に分割して処理されている。SOARS には、以下の3つの特長があり、トリアージや救急搬送などの対処をシミュレーションで表現しやすい利点がある。

1. スポットを用いることで物理的位置関係に制約されずにエージェント間の相互作用を実現できる。
2. ロールを用いることでエージェントの状態と社会的役割に対応した行動を容易に表現できる。
3. ステージ、フェーズ、ターンを用いることで、エージェントの状態遷移、行動、及びエージェント間の相互作用を区別し、エージェント間の相互作用の順序により状態遷移に差が生じないように干渉分解された役割遂行を表現できる。

B.3 定義

本研究のシミュレーションモデルは、以下の5つの要素から構成されている。

- 1) 病態遷移モデル：個々のエージェントが汚染物質(サリン剤)に被曝し、有機中毒(サリン中毒)症状が発生した場合の病態変化を表す。
- 2) 被曝プロセスモデル：空間内で暴露された汚染物質からエージェントへの被曝プロセスを表す。
- 3) エージェント行動モデル：家庭、交通機関、職場等を移動し汚染物質への接触を行う乗客等の社会的活動を表す。
- 4) 交通機関モデル：事件の舞台となった地下鉄路線の駅と車両の空間を表す。
- 5) 救命救急モデル：エージェントが被曝後、医療機関によるトリアージや救急搬送を表す。

シミュレーションの流れは次のとおりである。エージェントは、図2で示されるように、地下鉄車両及び地下鉄駅を移動中に汚染物質に被曝する。被曝後、中毒症状による病態の変化の一方、救急隊及び医師によるトリアージが行われる。トリアージ後、搬送手段が選択され、病院への搬送が行われる。症状のない乗客は、職場や自宅へ移動する。

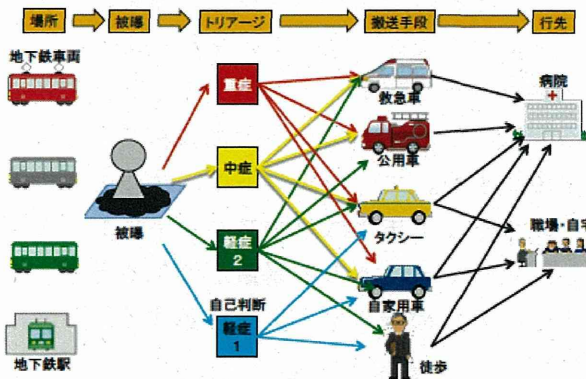


図2 人の行動概要

C 結果

C.1 病態遷移モデル

有機中毒における病態遷移は、図3に示されるように、エージェント*i*の病態(AgentDiseaseStage: ADS(*i*))が8種類に区分され、汚染物質の被曝量(Exposure of sarin EX(*i*, *k*, *t*))と閾値 $th1 \sim th4$ により軽症1~重症に決定され

る。適切な治療が行われた場合には、定められた期間で軽度な病態に遷移するが、放置された場合には進行し、重症以上では、蘇生・治療が行われなければ、一定時間で死亡する。

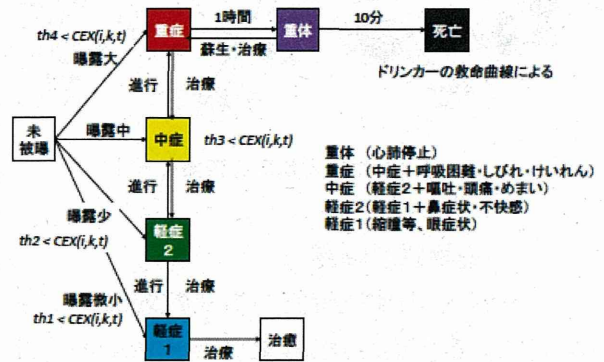


図3 サリン暴露に伴う病態遷移

また、エージェントの健康リスクは、図4に示されるように、適切な治療が行われた場合には減少するが、放置された場合には増大し、病態は悪化の方向に推移する。

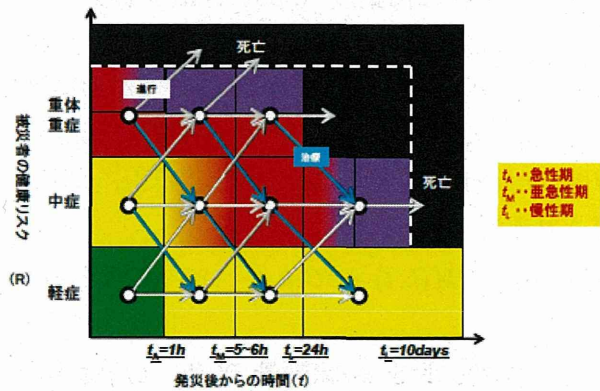


図4 暴露量と健康リスクの時間的推移

C.2 被曝プロセスモデル

本研究では、汚染物質の曝露による場(以下「スポット」という。)の汚染、汚染されたスポットからヒトへの被曝を被曝プロセスとするモデルとした。エージェント*i*の被曝プロセスは、図5に示されるとおり、汚染物質の排出、スポットの汚染、エージェントの被曝、有機中毒症状の発症に分割される。有機中毒症状の発症は、病態遷移モデルに示されるものである。

$$CEX(i, t) = \sum_{k, t} EX(i, k, t) \quad (5)$$

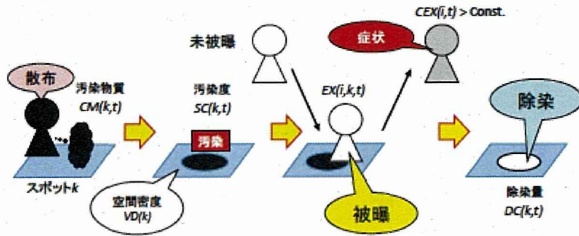


図5 サリンによる場所の汚染モデル

C2.2.1 汚染物質の曝露

スポット k の単位時間あたりの気化した汚染物質による汚染度(曝露量)(Contaminated Material $CM(k, t)$) は, 汚染物質容量 (Total Contaminated Material $TCM(k)$) と 汚染物質の気化係数 α , 空気中の光化学反応による半減係数 γ によって与えられる。

$$CM(k, t) = (\alpha - \gamma)TCM(k) \quad (1)$$

C.2.2 スポットの汚染

スポット k の汚染度 (Spot Contamination $SC(k, t)$) は, 過去 ($t - 1$) の汚染度と単位時間あたりの気化した汚染物質による汚染度(曝露量)の和と, スポット k における除染量 (Decontamination $DC(k, t)$) との差により決定される。

$$SC(k, t) = CM(k, t) + SC(k, t - 1) - DC(k, t) \quad (2)$$

ここでスポット k の除染量 $DC(k, t)$ は, 除染開始時刻 T_D により区分され, 半減係数 β で表される。

$$DC(k, t) = \begin{cases} 0 & (t < T_D) \\ \beta t & (t \geq T_D) \end{cases} \quad (3)$$

C.2.3 エージェントの被曝

時刻 t においてスポット k に滞在するエージェント i の単位時間あたりの被曝量 $EX(i; k; t)$ は,

$$EX(i, k, t) = SC(k, t) / SS(k) \quad (4)$$

で表され, エージェントの累積被曝量 (Cumulative EX-posure $CEX(i; t)$) は, その総和で表される。

C.3 エージェント行動モデル

エージェント行動モデルは, 被災者(被害者)であるエージェントが, 交通機関である地下鉄により自宅から職場へ移動中に汚染物質に被曝するまでのプロセスをモデル化したものである。被曝したエージェントは, 被曝プロセスモデル及び病態遷移モデルで定式化された症状を進行する。エージェントは, 自宅スポットから事件の発生した午前8時前後のランダムな時刻を出勤時刻 T_o に駅ホームスポットに移動する。地下鉄車両の発車時刻 T_t に車両スポットに移動し, 予め設定した下車駅への到着時刻 T_a に, 駅ホームスポットに移動するものとする。

C.4 交通機関モデル

地下鉄サリン事件では, 3路線5編成の地下鉄車内でサリンが散布され, 車内の乗客が被害を受けたほか, 日比谷線車両から小伝馬町駅ホームにサリンの入った容器が放出されたことにより, ホーム上の乗客にも被害が広がったことから, これらの空間をモデル化する必要がある。本モデルでは, 図6に示されるように, 駅舎スポット及び駅ホームスポットを表3に示される駅数分, 車両スポットを編成数ごとに車両数分用意する。エージェントは, 汚染された駅ホームスポットまたは車両スポットにおいて被曝し, エージェントの被曝量が増加すると, トリアージのため駅スポットへ移動する。

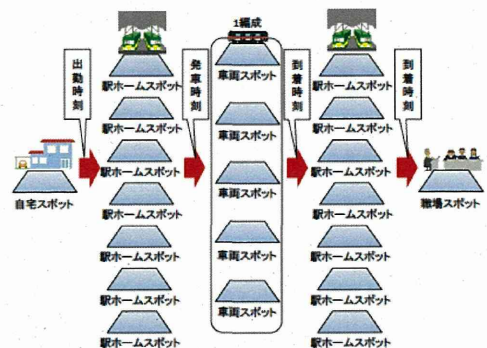


図6 交通機関モデル

表3 交通機関モデル (編成)

路線	駅数	編成数	車両数
丸ノ内線	25	2	6
日比谷線	21	2	8
千代田線	18	1	10

C.5 救命救急モデル

エージェントが被曝し、駅舎スポットに移動後、トリアージが行われる。患者となったエージェントは、図7に示されるように駅スポットにある待ち行列の再後尾に追加される。駅の待ち行列は、一人ずつ取り出され、病態ごとに医療機関への搬送または自宅・職場への移動に区分される。医療機関への搬送と判断され、病態に応じて搬送手段が選択される。重症の場合は救急車が、中症の場合には警察車両や消防車などの公用車が、軽症2の場合にはタクシーが選択されるが、搬送は、それぞれの車両が駅舎スポットにいる場合に限られる。各車両は、駅舎と医療機関を往復するものとする。一方、待ち行列が長い場合に患者自身が自己判断してタクシーにより病院または自宅・職場へ移動する場合が考えられる。これをシミュレーションで実装するために、エージェントに許容待機時間 T_w を設定する。 T_w 後エージェントは待ち行列から削除され、タクシーまたは徒歩により病院または自宅・職場へ移動する。

D. 考察

本研究では、大規模災害等における化学テロについて、被害規模の評価と被害発生時の対応手段の効果に関する検討を目的としている。その中で、本稿では、地下鉄サリン事件を例に、受傷者の行動、病態遷移、医療機関のマッチング及び搬送に関するエージェントベース・モデルの構築について報告した。今後、シミュレーションにより、受傷者数、医療機関への搬送について当時の状況を再現するとともに、任意の場所において化学テロが発生した場合の被害状況の算出、及びマニュアルに基づく対応について検証する予定である。

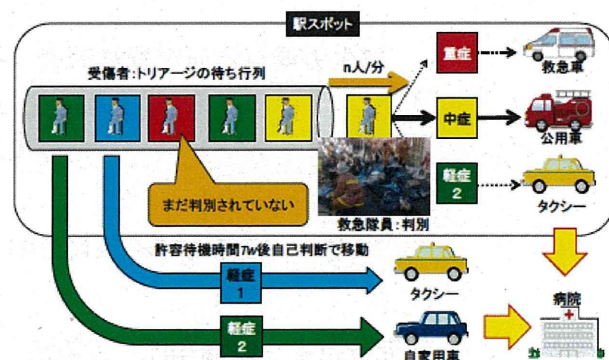


図7 トリアージモデル

E. 結論

本年度において地下鉄サリン事件におけるパラメータを活用した被害推計シミュレーションモデルの構築を行った。これにより、化学テロの散布場所、散布物質の特徴を変化させることで、どの医療機関にどの程度の患者搬送が見込まれるか定量的な評価が可能となった。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Nishiyama Y, Matsukuma S, Matsumura T, Kanatani Y, Saito T. Preparedness for a Smallpox Pandemic in Japan: Public Health Perspectives. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. 9(2): 220-223, 2015.
- 2) 石西正幸, 市川学, 田沼英樹, 出口弘, 金谷泰宏. エージェントベースシミュレーションによる高い致死性を持つ感染症対策におけるリスク分析手法の提案. *システム制御情報学会論文誌*. 27(7):319-325, 2015.

2. 学会発表

- 1) 市川学, 出口弘, 金谷泰宏. 災害時保健医療活動支援のための被害状況推計システム. 計測自動制御学会システム・情報部門 学術講演会 2015; 2015年11月; 函館
- 2) 石西正幸, 市川学, 石峯康浩, 金谷泰宏. エージェントベースモデリングによる大規模災害に伴う大量傷病者の救急搬送モデルの構築. 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2015; 2015年11月; 函館

3. 著書

なし

G. 知的所有権の取得状況

なし