

分担研究報告

「シミュレーションモデルに基づいた
化学テロ対応医薬品国家備蓄の最適化に関する研究」

研究分担者 市川 学
(芝浦工業大学・システム理工学部 准教授)

令和元年度厚生労働行政推進調査事業費補助金(厚生労働科学特別研究事業)
「2020年オリンピック・パラリンピック東京大会等に向けた包括的な CBRNE テロ対応能力構築のための研究」

分担研究報告書

「C テロ対策のための備蓄量最適化に関する研究」

研究分担者 市川 学 (芝浦工業大学 准教授)

研究要旨

2020年オリンピック・パラリンピック東京大会(以下、オリパラ)期間中やその前後では CBRNE テロの発生に備えて、オリパラ特有の状況を踏まえた備えと対応が必要となる。本研究ではテロ対応のシミュレーションモデルを構築し、テロ発生時における傷病者に対して十分に医療を届けることが出来るよう、医療品備蓄の配置や総量の最適化を行う。具体的には、エージェントベースのアプローチでシミュレーションを行い、人のいる場所や傷病の割合などを変更して検証する。シミュレーションを通じて複数の備蓄シナリオを評価することを可能にした。

A 研究目的

本研究では、2020年オリンピック・パラリンピック東京大会(以下、オリパラ)期間中及びその前後の期間中の CBRNE テロの発生に備え、その対応策を検討することができるシミュレーションモデルをエージェントベースのアプローチを用いて構築し、現在の国家備蓄がテロ発生時に対応出来るかについての検証を行う。また、構築したシミュレーションモデルをオリパラの会場におけるテロ発生事案に対応させることで、テロ発生時における傷病者に対して十分な医療を届けられるよう、医療備蓄配置や総量の最適化を行う。複数のシナリオを評価することで現実社会において実現可能かなどを検証する。シミュレーションで検証するシナリオの例としては、開会式会場で客席にサリンが散布された想定、医療備蓄を現場に運び入れる場合と医療施設のみで処置を行う場合のシナリオ、同時多発的に複数会場でテロが発生した場合のシナリオなどが挙げられる。

B 研究方法

本研究では一般に公開されているオリパラ会場、消防署、医療機関の位置データ及び救急車の台数や病床数を取得し、S4 Simulation System(以下、S4)を用いてシミュレーションモデルを構築する。本シミュレーションにおいて、テロ発生及び傷病者の発生場所はオリパラ会場のみとし、傷病者の数は重症度を重み付けしてランダムに発生するものとした。

医療備蓄量は傷病者数と対応させることで最適な医療備蓄や配置を分析する。エージェントベースのアプローチを採用することで、人の分布や傷病の割合の増減、時系列に則して病態を変化させながら検証を行うことを可能にする。時系列に即した病態遷移として、Fig.1のような病態遷移モデルを使用した。

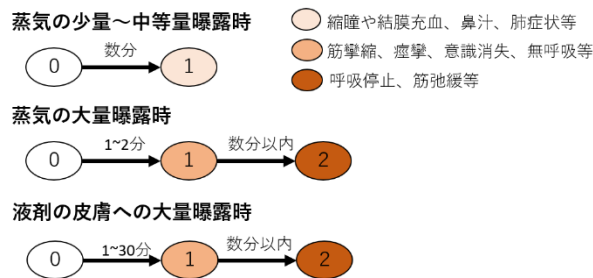


Fig.1 サリン被害における病態遷移図

サリンを蒸気の状態少量～中等量曝露した場合は、数分以内に縮腫や結膜充血、鼻汁、肺症状などが現れる。蒸気的大量曝露や液剤の皮膚への大量曝露時は初期症状として筋攣縮や痙攣、意識消失、無呼吸等が生じるが、初期症状の発生時間は蒸気の場合で1~2分、液剤の場合は1~30分と異なる。以降はどちらも数分以内に呼吸停止や筋弛緩等が発生する。本研究において、シミュレーションにおける呼吸停止後から死亡するまでの病態遷移は、Fig.2のカーラーの救命曲線より約10分で死亡率50%とした。

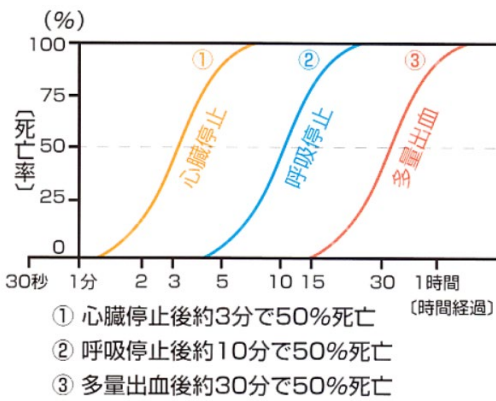


Fig.2 カーラーの救命曲線

医療備蓄の最適化においては、傷病者を医療機関に搬送して処置を行う場合は、各医療施設の病床数や医療処置可能な傷病の差異、患者の搬送手段である救急車の台数の制限、医療施設間や医療施設と会場間における備蓄の配送、中継地点設置の有無等が影響すると考える。これらを踏まえたうえで、医療備蓄が過不足なく配置されるよう最適化を行う。さらに、患者を医療機関へ搬送するだけでなく、医療機関が保有している備蓄品をテロが発生した現場へ運搬する対応策の検討も行えるものへと拡張を行った。

また、テロが発生した現場に医療備蓄を運搬して処置を行う場合の医療備蓄の最適化は、医療備蓄を保管しておく医療機関の場所や医療備蓄を運ぶ輸送車の積載量と台数に影響を受ける。シミュレーション上で、積載量や台数、備蓄場所を変化させられるものとする。

なお、患者の発生については、Table 1 に発生人数の式を記載する。また、搬送手段については、東京都内に配備されている救急車のみを利用することとした。

傷病者の搬送先は最寄りで受け入れに余裕のある医療機関から順に選択する方式で決定する。

Table 1 想定被災発生人数の発生式

| | |
|----------------|---|
| 赤タグ患者 (重症) | 収容人数×正規分布に従った乱数 (平均 0.01 標準偏差 0.005) |
| 黄タグ患者 (中等症) | 収容人数×正規分布に従った乱数 (平均 0.05 標準偏差 0.005) |
| 緑タグ患者 (軽症) | 収容人数×正規分布に従った乱数 (平均 0.05 標準偏差 0.005) |

C 研究成果

C.1 医療機関へ患者を搬送して処置するシナリオ

本研究における患者を医療機関に搬送して処置を行うシミュレーションシナリオとして3つを想定した。

シナリオ 1 は、新国立競技場をテロ発生場所とし、サリン散布が行われたテロを想定したものとする。750名の想定被災人数のうち重症70名、中等症340名を医療機関へ搬送、初期対応するものとした。

シナリオ 2 は、東京体育館と新国立競技場の比較的距離に近い2会場で同時にテロが発生したものとした。これら会場での患者発生人数の内訳については、Table 1を基に想定した。

シナリオ 3 は、東京スタジアムと有明コロシアムの比較的距離が遠い2会場で同時にテロが発生したものとした。これら会場での患者発生人数の内訳についても、Table 1を基に想定した。

シナリオ 1 におけるシミュレーション結果の中で、各医療機関に搬送された赤タグ患者・黄タグ患者の分布を、Fig. 3に示す。新国立競技場周辺の医療機関へ、赤タグ患者全てを搬送するのに搬送開始から約30分、黄タグ患者においては約4時間半かかる結果が得られた。なお、赤タグ患者と黄タグ患者のどちらも搬送・薬剤投与をした場合、現在想定されている医薬品備蓄総数ではアトロピンが23018A、パムが5825A(赤タグ患者換算でアトロピンは約1150人分、パムは約3000人分)不足するという結果がシミュレーションされた。

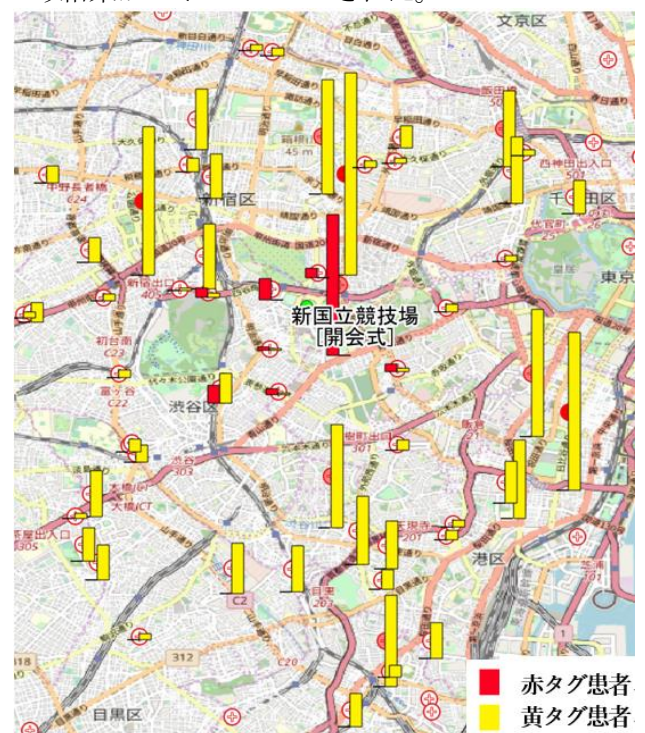


Fig. 3 シナリオ 1 における患者搬送先結果

シナリオ 2 におけるシミュレーション結果を、シナリオ 1 同様に患者の搬送分布として Fig. 4 に示す。テロ発生会場が比較的近い場合は、搬送範囲もシナリオ 1 と近い傾向となり、搬送時間にかかる時間も、赤タグが約 40 分、黄タグが約 4 時間 35 分と近い数字が得られた。なお、赤タグ患者と黄タグ患者のどちらも搬送・薬剤投与した場合、医薬品備蓄総数ではアトロピンが 23874A、パムが 5925A(赤タグ患者換算でアトロピンは約 1200 人分、パムは約 300 人分)不足するという結果が得られた。

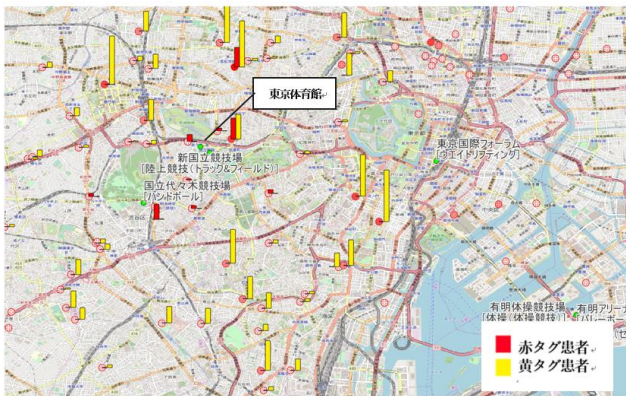


Fig. 4 シナリオ 2 における患者搬送先結果

シナリオ 3 におけるシミュレーション結果を、Fig. 5 に示す。テロ発生会場が比較的遠い場合は、搬送範囲も広範囲となり搬送資源が分割されてしまう影響が得られた。搬送時間にかかる時間も、赤タグが約 1 時間 45 分、黄タグが約 5 時間 41 分と搬送資源及び搬送先が都心部に集中していない影響などが結果に現れた。なお、赤タグ患者と黄タグ患者のどちらも搬送・薬剤投与した場合、医薬品備蓄総数ではアトロピンが 22110A、パムが 4779A(赤タグ患者換算でアトロピンは約 1105 人分、パムは約 2389 人分)不足するという結果が得られた。

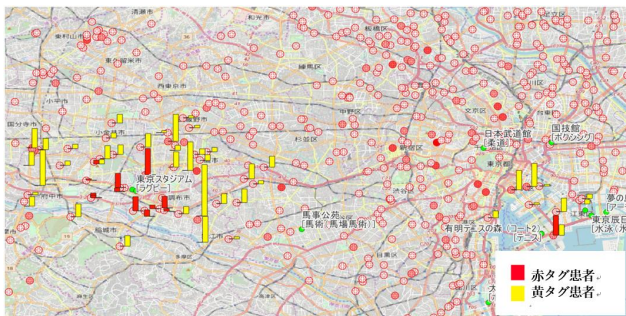


Fig. 5 シナリオ 3 における患者搬送先結果

C.2 医療備蓄を会場へ運搬するシナリオ

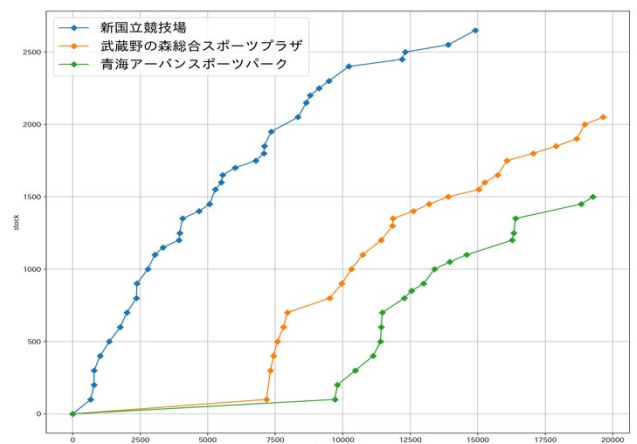
テロが発生した医療会場へ医療備蓄を医療機関より運搬する場合のシミュレーションは、テロ発生時刻とテロ発生会場、及び各医療機関の備蓄量と運搬台数が影響する。シナリオの 1 例として、新国立競技場、武蔵野の森総合スポーツプラザ、青海アーバンスポーツパークで同時テロが発生したと仮定する。東京都内の医療機関に配備されている医療備蓄を表 2 の通りとし、備蓄コンテナに予め決められた医療備蓄が保管されているものとした。なお、1 つのコンテナを運ぶためには、1 台の運搬車が必要で、各医療機関に 1 台ずつ運搬車を配備しているものとした。

Table 2 医療備蓄の設定

| 医療機関 | 備蓄コンテナ | 備蓄コンテナ | 備蓄コンテナ | 備蓄コンテナ | 備蓄コンテナ | 備蓄コンテナ | 備蓄コンテナ |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 日本大学病院 | 100 | 100 | 50 | 50 | 50 | 100 | |
| 東京慈恵会医科大学附属病院 | 200 | 100 | 100 | 50 | 200 | | |
| 東京済生会中央病院 | 100 | 100 | 100 | 50 | | | |
| 北里大学北里研究所病院 | 100 | 100 | 50 | 50 | | | |
| 東京医科大学病院 | 100 | 50 | 50 | | | | |
| 東京女子医科大学病院 | 100 | 100 | 100 | 100 | | | |
| 東京新宿メディカルセンター | 50 | 50 | 50 | 50 | | | |
| 慶應義塾大学病院 | 200 | 100 | 50 | 50 | 50 | 100 | 200 |
| 大久保病院 | 100 | 100 | 50 | 50 | | | |
| 日本赤十字社医療センター | 100 | 100 | 100 | 50 | | | |
| 三井記念病院 | 100 | 100 | 50 | 50 | | | |
| 日本医科大学付属病院 | 100 | 100 | 50 | 50 | 50 | 100 | 100 |
| 順天堂大学医学部附属 順天堂医院 | 200 | 100 | 100 | 50 | 200 | | |
| 永寿総合病院 | 100 | 100 | 100 | 50 | | | |

各テロ発生会場への運搬は、会場から最寄りの医療機関から届くものとし、必要に応じて複数回の往復による運搬を行うものとした。各会場へ届く医療備蓄量と時間の関係を Fig. 6 に示す(縦軸が運搬された備蓄量、横軸が秒)。

都心部にある新国立競技場への運搬は、近隣に医療機関が多いこともあり、短時間で相当数の医療



備蓄を運搬できる。一方で、都心部から離れた二会場では最初の備蓄が到着するのに時間がかかるものの、以降は随時到着する結果が得られた。

Fig. 6 医療備蓄の会場運搬時間と運搬量

D 考察

医療機関へ患者を搬送して処置するシナリオ 1—3 すべてにおいて、赤タグ患者だけ薬剤投与した場合、医薬品総数における赤タグ患者対応率がアトロピンとパムの双方で 100%を上回ることから、現在の備蓄総数で足りることが分かった。一方で、備蓄計画の医薬品備蓄分布と使用された医薬品の分布を比較すると差が正の値である施設があることから、医薬品を余っている医療機関から不足している医療機関に再配分する必要性を検討する余地があると考えられる。

また、黄タグ患者への投与については、備蓄が不足することがシミュレーション結果から判明したため、赤タグ患者よりも治療開始までの時間的余裕を、いかに全国からの備蓄運搬の時間と量で補えるかが対応策の核になると予想される。

なお、同時多発性について今回は二会場の近距離シナリオと遠距離シナリオを想定したが、本来であれば、無限大にある同時多発テロの可能性を考慮し、最悪なシナリオの同定とそのシナリオ発生時の対応力をシミュレーションしておく必要があると考える。

医療備蓄を会場へ運搬するシナリオでは、テロ会場の立地が、医療備蓄到着へ大きく影響するため、同時発生を考慮して備蓄コンテナの大きさや運搬に利用可能な台数を検討しておく必要がある。

E 結論

本研究では、C テロのサリン散布が東京オリンピック・パラリンピックで行われた想定でシミュレーションモデルを構築し、現在の国家備蓄計画が機能するかの検証を行った(シナリオ 1)。また、複数シナリオを検証することで、より有用的な備蓄総量や配置等の検討に繋げることが出来ることが示唆された。

本研究の結果として、患者を搬送する場合には、現在の備蓄計画で対応出来るのは赤タグ患者のみであり、黄タグ患者の対応をするためには、今回

の検証したシナリオを含め、備蓄総量を増やす必要があることが判明した。また、オリパラスケジュールに沿ったシナリオで検証することで、テロの発生しうる状況を具体的に把握し、スケジュールに応じて各医療機関に必要な備蓄数が異なることが判明した。さらに、備蓄品を会場に運ぶ場合は、各医療機関で備蓄する量と運搬量の適正化を検討して必要性があることが確認できた。

本研究ではサリン散布想定で検証を行ったが、実際に化学テロで用いられる化学剤にはサリンを含む神経剤の他に 5 種類が存在し、それぞれに合った解毒剤の備蓄が必要となる。CBRNE テロ対策という観点においても他の BRNE テロに対応するシミュレーションモデルが必要である。患者を医療機関に搬送するのか、それとも医療資源を現場に運搬してくるのかについても、テロの内容、同時多発性など複雑なシナリオを想定する必要がある。今後は、今回検証したシナリオ以外での検証、またサリン散布以外の CBRNE テロに対応したシミュレーションによる検証を行うことで、より多様な状況に応じた CBRNE テロ対策が可能となると考える。

G. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

今枝美春, 田口尚樹, 市川学, 中井豊. シミュレーションを用いた C テロ対策における医療備蓄に関する研究. 第 22 回社会システム部会研究会, 計測自動制御学会 システム・情報部門, p.150-157. (発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

H. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし