

—原 著—

施策検討を可能とする首都直下地震を想定した 災害医療シミュレーション・システムの開発

布施 理美^{1,2} 鈴木 進吾¹ 布施 明² 林 春男³¹国立研究開発法人防災科学技術研究所災害過程研究部門主幹研究²日本医科大学救急医学³国立研究開発法人防災科学技術研究所

Development of A Novel Disaster Medical Simulation System for Validating the Flow of Medical Support Activities Following A Major Tokyo Inland Earthquake

Rimi Fuse^{1,2}, Shingo Suzuki¹, Akira Fuse² and Haruo Hayashi³¹Disaster Resilience Research Division, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience²Department of Emergency and Critical Care Medicine, Nippon Medical School³National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

Abstract

In the event of a major earthquake in the Tokyo metropolitan area, the number of people injured is predicted to be nearly 150,000 in Tokyo alone. Therefore, the Japanese government must be prepared to respond promptly by deploying medical teams and implementing appropriate medical systems in disaster-stricken areas with the support of base hospitals. Large-scale training of medical professionals is also required annually. Furthermore, all of these measures need to be validated. However, to date, no method has been established to validate measures for medical support activities after a disaster. In this study, we constructed a disaster medical simulation system using discrete-event simulation, reproduced the flow of medical support activities after a disaster, and quantified expected outcomes. The medical activity simulation was conducted in response to a hypothetical major earthquake in Tokyo. Results were assessed according to location by dividing Tokyo into the 12 districts specified as secondary medical districts by the Tokyo Metropolitan Government. The simulation time frame started from when an injury was first sustained due to the earthquake and concluded when all victims reached one of the following endpoints: admission to hospital, transport out of a staging care unit, or death. In this scenario, more than 3,000 yellow or red tag patients would be admitted to hospitals located in the Central Northeast and Central East districts of Tokyo, which is a very serious medical situation. In terms of load per hospital, affiliated hospitals in the Central East district can accept the largest number of yellow and red tag patients (more than 250) at one time, followed by affiliated hospitals in the Central South district, and disaster base hospitals and affiliated hospitals in the Central Northeast district. Under current assumptions for medical assistance, the disaster medical simulation system found that due to a lack of medical staff only 67.1% of yellow or red tag patients would survive a disaster through treatment, hospitalization, and wide-area medical transportation. In the future, it is hoped that this simulation system will be used to investigate and resolve bottlenecks for disaster medical care and to implement appropriate response measures.

(日本医科大学医学会雑誌 2019; 15: 170–181)

Key words: preventable disaster death, disaster response, medical relief team, wide area medical transportation, disaster base hospital

Correspondence to Akira Fuse, Department of Emergency and Critical Care Medicine, Nippon Medical School, 1-1-5 Sendagi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8603, Japan

E-mail: fuse@nms.ac.jp

Journal Website (<https://www.nms.ac.jp/sh/jmanms/>)

緒言

首都直下地震の被害想定では、湾岸北部 M7.3 の場合、東京都における死者数 9,700 人、負傷者数 147,600 人と想定されている¹。同地震に対し中央防災会議幹事会は、「首都直下地震における具体的な応急対策活動に関する計画」（令和元年 5 月 27 日）の「医療活動に係る計画」の趣旨のなかで、「多数の負傷者の発生」、「多数の要転院患者の発生」によって、急激に増大する「1 都 3 県の区域内の医療ニーズ」に対して、被災地内の「医療資源を最大限活用する必要がある」としている²。そのために、「医療チームによる応援を迅速に行い、（中略）災害拠点病院を中心に被災地内の医療体制を確保する必要がある」あり、地域医療搬送、広域医療搬送を実施する必要があるとしている。同計画の中にはそのためにどのように災害派遣医療チーム（Disaster Medical Assistance Team, 以下 DMAT）が参集し、被災地内で任務付与され、災害拠点病院を支援し、重症患者を医療搬送するのかが示されている。しかしながら、想定される負傷者が同計画を実施することによって、発災後も災害関連死に陥らずに経過できるのかについての予測はこれまでなされていないのが現状である。

なお、本検討での災害関連死は、内閣府が定めた定義（2019 年 5 月）にある「当該災害による負傷の悪化又は避難生活等における身体的負担による疾病により死亡」のうち、“当該災害による負傷の悪化”が発災後の医療救護活動中に起こることによる死亡（以下、災害関連死 A とする）のみである、とする。一方、“避難生活等における身体的負担による疾病”によるものを災害関連死 B とするが、今回の検討では災害関連死 B は含まれていない。

現実に医療資源は有限であり、効果的な医療救護活動を行わないと、“防ぎえる災害死”は増えることが懸念される。

そこで、本研究では、首都直下地震における既存の災害想定のもと、有限な医療資源を効率的に活用して、災害関連死 A を減らすことを目的とした災害医療シミュレーションを構築し、その結果をもとに考察を加えた。

対象・方法

1. 災害医療対応シミュレーション

災害医療活動のシミュレーションを行うためには、以下のことを考慮する必要がある。まず、被災状況が想定できるシミュレーション・システムが必要で、建物・ライフライン等対応資源の被災状況も組み込めることが望ましい。災害医療対応は、医療機関、医療従事者、警察、消防、自衛隊など様々な機関・組織による対応からなる複合的なものである。

本研究では、以上の要件を考慮して、災害時の地域における医療機関活動の全体像をシミュレートし、資源の配分ルールや準備について検討する手法として、待ち行列タイプの離散事象シミュレーションを用いた。待ち行列シミュレーションとは、工場における生産シミュレーションや交通シミュレーションなどの分野で利用されてきたもので、例えば生産工程、道路走行、窓口で順番を待っている列の最大長や平均待ち時間などを予測するためのシミュレーションである。災害医療で後述する設定を行って、処置前、処置後、入院、広域医療搬送拠点などの混雑具合等を再現し、傷病者に手当てが施されない時間をカウントしてトリアージタグを変化させ、傷病者の転帰を決定すれば、設定した項目の有用性を検討することが可能となる。

災害医療対応における組織の多様性に鑑み、離散的に発生する事象に対して、複数の要素からなる複雑なシステムの挙動をコンピューター上で再現することを試みた。離散事象シミュレーションにおいては、システムの状態変化を引き起こす事象が不連続で離散的な時点において発生する。この事象の発生をトリガーとして、その事象に関連する処理を実行し、システム状態を変化させる。また、これと同時に指定時間間隔等のトリガーを設定し、次々に処理を連鎖させて、シミュレーションを進めていく。

災害時の医療活動に、離散事象シミュレーションを当てはめると、不連続で離散的な時点において発生する事象は“傷病者の病院への到着”である。この事象をトリガーとして、医療活動の全体を構成する各医療機関では、トリアージ・医療処置が行われた後に、当該病院で受け入れるか、他の病院あるいは広域医療搬送拠点（Staging Care Unit, 以下、SCU）へ転送するかなどが判断され、実行される。これによって、システムとしての各病院の状態、具体的には傷病

者数などが変化する。

医療機関が医療処置を開始するためには医療スタッフなどが、他の医療機関等へ転送するためには救急車などが、資源として必要となる。離散事象シミュレーションでは、これらの資源については、要求者に先着順または優先順位順に割り当てられ、要求者は資源が割り当てられるまで待機しなければならない。すなわち、傷病者は対応する医療機関が決定したら医療スタッフを要求し、医療スタッフが空くのを待ち、割り当てられたらそれをトリガーとして、続く医療処置に進むことができる。

さらに、医療処置には時間がかかるため、処置に要する時間を待って、傷病者は次の行動、すなわち入院や搬送に移る。このように、傷病者の発生、スタッフの割り当て、処置にかかる時間経過、入院や搬送に至る一連の医療活動を追って、シミュレーションを進めるものである。その中で、有限な資源を考慮しながら、システム全体としての医療活動が分析可能である。

本研究では、離散事象シミュレーションを実施するために、プログラミング言語 Python を利用し、当該言語の離散事象シミュレーションライブラリ SimPy を組み込んで、医療活動シミュレーションを構築した。

2. シミュレーションの手法

本研究では、首都直下地震発生時における東京都の範囲を対象として医療活動シミュレーションを行う。シミュレーションの時間軸としては、地震による傷病者の発生から、全傷病者が医療機関に入院するか SCU から域外へ搬送されるか、あるいは死亡するまでを扱うこととした。シミュレーションを行う上で必要な各医療機関の対応の流れについては、東京都福祉保健局が2018年3月に公表した災害時医療救護活動ガイドライン(第2版)に規定されているものに沿って定義することとした³。

(1) 傷病者の発生

首都直下地震の想定として、2004年に内閣府が公表した東京湾北部地震を用いる。まず、この地震によって各医療機関にくる傷病者を仮定する必要があるが、詳細な被害分布は公表されていないため、以下の方法で求めることにした。

まず、東京湾北部地震として想定されている地表面最大速度(PGV)分布から、童らの木造建物の揺れによる被害の算定式を用いて建物被害率を算出する。次に、これと2010年国勢調査地域メッシュ統計の「住宅の建て方別住宅に住む一般世帯」に関する項目の

中、一戸建て世帯数、長屋建世帯数、及び1・2階共同住宅世帯数の合計値の分布を掛け合わせることで、木造建物被害を算定する。そして、ここでは、「首都直下地震の被害想定項目及び手法の概要」(中央防災会議)に準じて、木造建物被害の分布と、傷病者の発生分布を同等と仮定し、傷病者総数を木造建物被害の分布に応じて按分して、傷病者発生分布とした⁴。ただし、傷病者総数は、医療機関での入院や集中治療が必要となるものに限定するため、重傷者数の値を用いた。

次に、この傷病者数分布から、各医療機関に来院する傷病者数を、傷病者が負傷した地点の最も近い医療機関に来院するという仮定のもとに算出した。また、1995年の阪神・淡路大震災における傷病者の医療機関到着の時間的推移に関する記録を参考に、地震発生から24時間以内に全傷病者数の36%、24時間から48時間以内に18%、以降1日ごとに9%という割合で受診するように、各医療機関を受診する傷病者をランダムな時間間隔で発生させ、シミュレーションを実施した⁵。

医療機関を受診し、入院等の処置が必要となる傷病者のうち、トリアージタグの色が赤となるような重症者の比率は、2割程度になることがわかっている⁶。このことから、本研究では、傷病者の医療機関受診時の状態を、トリアージタグの色で、赤、黄がそれぞれ1:4の比率となるように設定した。緑及び黒は考慮していない。

(2) 傷病者の処置

医療機関に到着した傷病者の到着後の処置は次の通りとした。まず、医療機関は到着した傷病者に対して最初にトリアージを実施する。ガイドラインに示された超急性期に想定される傷病者の流れに従って、黄タグとされた傷病者については、そのまま次のステップに移る。赤タグとされた傷病者について、その傷病者のいる病院が拠点病院であれば、次のステップに移る。連携病院であれば、拠点病院に搬送し、次のステップに移る。ここで、搬送先の拠点病院は同じ医療圏内の病院とし、搬送するためには当該拠点病院の医師1名と看護師1名(以下、このユニットをスタッフという)及び救急車を必要とする。次に、それぞれ病院において処置を行う。処置を行う際にはスタッフが1ユニット必要であるとし、傷病者はスタッフが割り当てられるまで待機する。スタッフの割り当ては拠点病院においては赤タグの者を優先して割り当て、赤タグの者がいなくなれば黄タグの者に割り当て、あるいは余っていたら割り当てる。処置にはステー

タスに応じてそれぞれ3. で設定する時間を必要とする。

(3) 傷病者の処置後

処置後、傷病者は病院内の処置後待機場所にて待機する。病院は病床に空きがある場合、処置後待機場所にいる患者を入院させる。入院させる場合は、患者1人につき1ベッドと、急性期一般病棟の看護基準を参考に患者7人につき、1ユニットのスタッフを必要とする⁷。拠点病院においては、入院できる者は赤タグの者のみとする。

また、病院は、処置後待機場所にいる患者数と、処置待ちの患者数を比較し、処置後待機場所にいる患者数が多くなった場合、SCUの空きを確認し、患者1人あたりスタッフ1ユニットと、救急車1台を割り当て、SCUに搬送する。この場合も、拠点病院においては赤タグを優先して搬出する。さらに、処置待ちの患者がいなくなり、スタッフに余裕が出てきた場合、入院している患者を同様にSCUに搬送する。

(4) 傷病者の地域医療搬送

傷病者は、次の場合に、搬送が必要となる。1. 連携病院で赤タグのステータスであり、拠点病院での処置が必要である場合、と2. 連携病院および拠点病院において処置が完了している、または入院済みでSCUへの後方搬送が必要な場合、である。搬送には、スタッフ1ユニットと救急車1台が必要となる。

これらの場合における搬送の優先順位付けは、医療圏単位で先着順に実施するものとする。医療圏の拠点病院は、スタッフおよび救急車に余裕がある場合、医療圏の連携病院から拠点病院への搬送待ちリストの順位が上位のものから順に、搬送するものとする。それでもまだスタッフや救急車に余裕がある場合は、SCUの定員に空きがあればSCUの搬送待ちリストの上位のものから順に、他の拠点病院や連携病院からSCUへ搬送するものとする。

(5) 傷病者の広域医療搬送

SCUに搬送された患者については、患者4人につき先着順にSCUのスタッフ1ユニットを割り当て、ヘリコプター1台を使用して、遠方に転送することとした²。遠方に転送するためにかかる時間は次項で設定するものとする。

(6) 傷病者のステータスの変化

傷病者は、スタッフの割り当てがない場合、時間が経過すると、ステータスが悪化していくものとする。

傷病者が病院に来院した時点を中心として、スタッフが割り当てられない限り、時間経過とともに、黄タグから赤タグ、赤タグから黒タグと状態が悪化

するものとする。状態が悪化するまでの時間はそれぞれ3. で設定するものとする。すなわち、未処置のままスタッフが割り当てられない場合、一定時間経過後、死亡する。

次に、処置が終わった時点を中心として、入院又は、SCUに向けて搬送が開始されるまで、再度時間経過に従って、ステータスを変化させる。処置後のステータスは処置前のステータスと同じとし、ステータスに応じてステータスが変化するまでの時間を次項のとおり設定する。

(7) 医療救護班の投入

医療救護班は、次項で設定する医療救護班総数のパラメーターを元に一定間隔で医療救護班集結拠点に到着するものとする。医療救護班集結拠点に到着する医療救護班の中には、次項で設定する比率パラメーターに基づいて救急車付きの医療救護班があるものとする。医療救護班集結拠点に到着した医療救護班は1時間おきに、災害医療コーディネーターの采配に基づいて、各拠点病院・連携病院または各SCUに投入されるものとする。

災害医療コーディネーターの采配として、医療救護班を各拠点病院・連携病院または各SCUに投入する際のルールは下記の通り定義した。

医療救護班を拠点病院へ配置する際は、処置や搬送を要する傷病者数が最多となる拠点病院へ1隊配置し、配置後、同様の操作を繰り返す。この操作を集結拠点に留まっている医療救護班がいなくなるか、もしくは処置/搬送を要する傷病者が全病院で0になるまで繰り返す。医療救護班をSCUに配置する際は、次の順で満たしていくものとする。

- 1) 当該SCUの指揮者となる医療救護班1隊
- 2) 当該SCUのヘリコプター数分の医療救護班
- 3) 当該SCUの定員4人に対して医療救護班1隊

なお、救急車付き医療救護班を配置する際は、拠点病院への配置を優先とし、救急車を持たない医療救護班を配置する際は、SCUへの配置を優先するものとする。

3. シミュレーションのパラメーター設定

本研究で開発したシミュレーションの手法は前項に示したとおりであるが、その中で、パラメーターとして、変更できるように設定した項目について本章で記述する。2. で記述したものが医療機関等の動きのルールであるのに対して、これらのパラメーターは戦術的に可変であるものが多く、ルールを決めた時に、どのくらいの資源等を準備すべきかなどの検討を行うこ

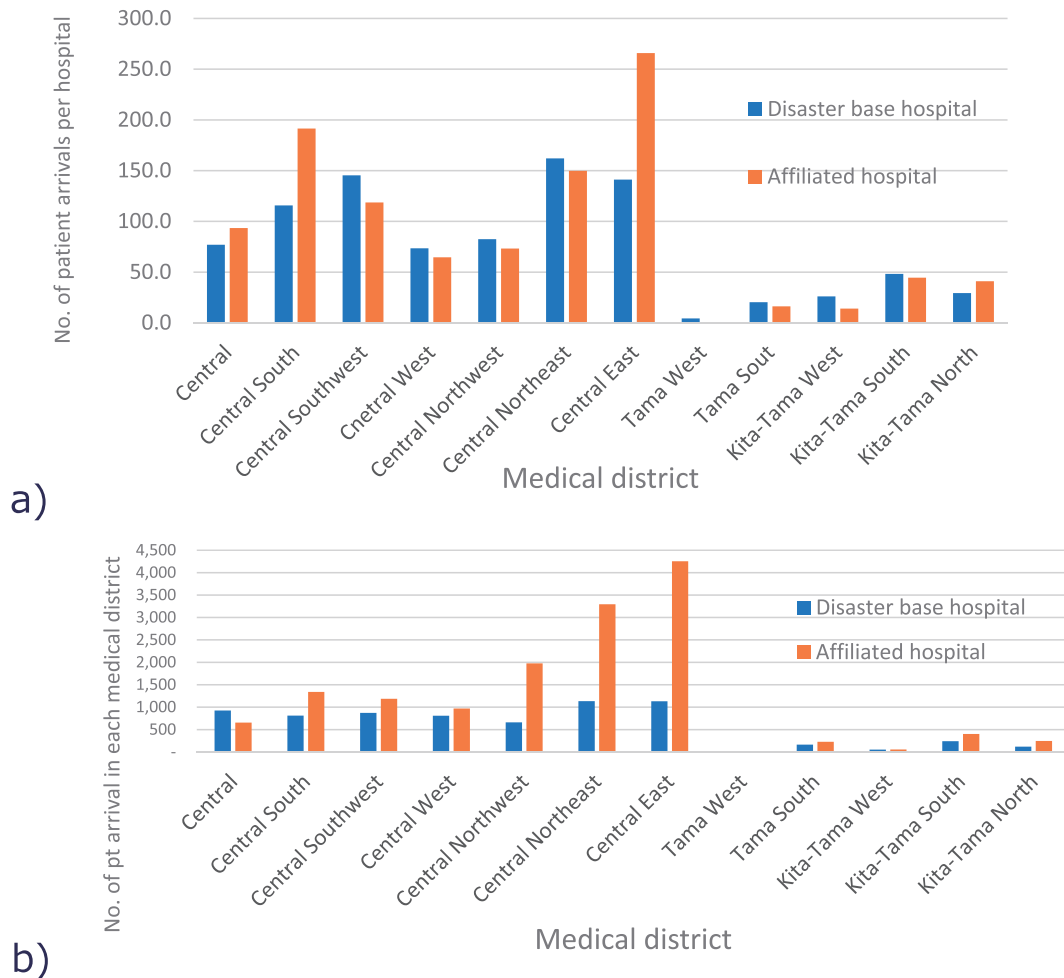


Fig. 1 a) Number of patient arrivals per hospital in each medical district, b) Number of patient arrivals in each medical district

とができるようになっている。

(1) 傷病者のステータス変化に関わるパラメーター
傷病者のステータスが変化する時間については、「外傷死の3つのピーク」の早期死亡のヤマが2時間弱にピークがあることを参考として、以下のように仮定した⁸。黄タグの傷病者が未処置のまま時間が経過し、赤タグにステータスが変化するまでの時間は、24時間後に90%が赤タグに変化する指数分布とした。赤タグの傷病者が未処置のまま時間が経過し、死亡するまでの時間は、平均3時間、標準偏差0.5時間の正規分布に従うものとした。黄タグの傷病者が処置後、入院も後方搬送もできずに時間が経過し、赤タグに変化するまでの時間は平均24時間、標準偏差1時間とした。赤タグの傷病者が処置後同様に死亡するまでの時間は、平均4時間、標準偏差0.5時間の正規分布に従うものとした。

(2) 医療資源に関わるパラメーター

各医療機関の初期スタッフ数は、平常時の東京都の

医療機関の100病床数あたり常勤医師数を参考として15.0スタッフとし、3交代で対応に当たるものとした⁹。このパラメーターを変更させることで、災害対応時の人的資源を増減することによる効果を算定でき、この対策の必要性を検討することができる。

各医療機関の災害時に新たに受け入れ可能な人数は、災害拠点病院の指定要件から平常時の各医療機関の病床数の1倍とした。このパラメーターを変更することで、地域内に傷病者を留めるか、地域外に転送するかの対応を検討することができ、域内の収容力に関する対策を検討することができる。

地域内の救急車の初期台数は、東京消防庁の救急車運用数が253台(2017年実績)であることを参考に、拠点病院81に対してそれぞれ3台として243台とした¹⁰。このパラメーターを変更することで、病院間や病院とSCU間の搬送に対策を行う必要性を検討することができる。

地域内を救急車が移動する際の移動速度は、人口密

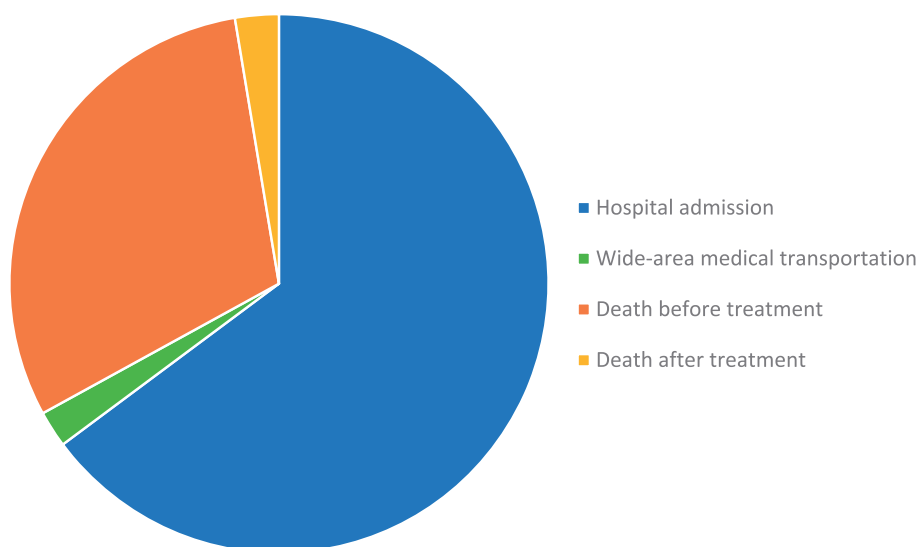


Fig. 2 outcomes of patients after medical support activities

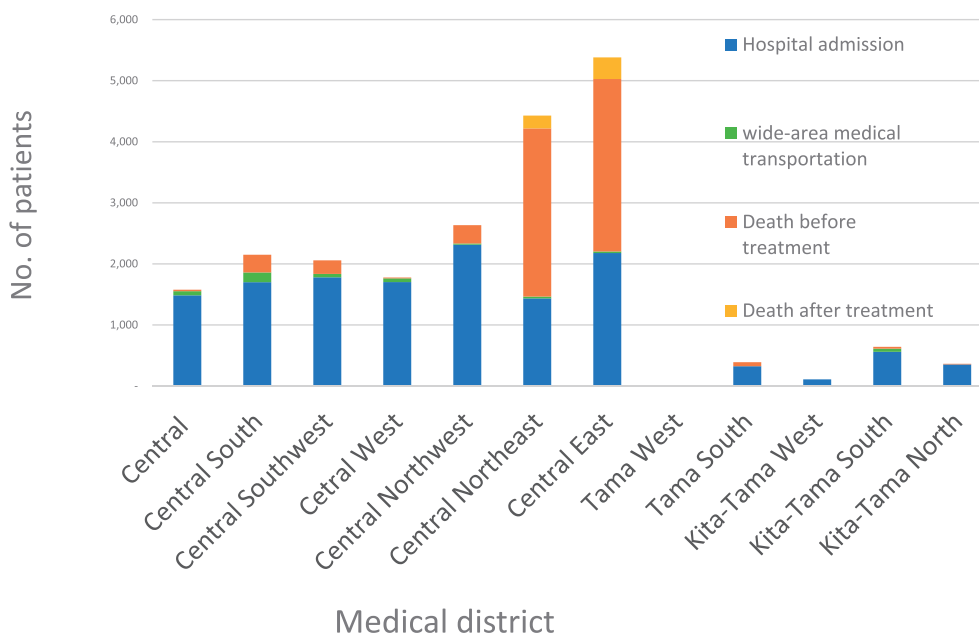


Fig. 3 Patient outcomes in each medical district

集地域の混雑時旅行速度を参考に20km/hrとした。このパラメーターにより、域内の交通の啓開の必要性が検討できる。

期間内に参集する医療救護班の総数は、厚労省研究班の検討でDMATが250隊としているのを参考として、現在、隊数が増加しDMAT以外の医療救護班も参画するとして350隊とした²。このパラメーターを変更することで、医療救護班を増やす必要性の検討が可能となる。各SCUの定員、ヘリコプター数はこれまでの訓練実績を参考にそれぞれ20人、2機と設定した。また、各SCUからヘリコプターが域外の医療

機関に傷病者を搬送し、SCUに戻ってくるまでの往復にかかる時間は、3時間と設定した。これらのパラメーターにより、域外への搬送力を強化する対策の有効性が検討できる。

結果

Fig. 1は東京の12医療圏別の来院傷病者数及び、12医療圏別の1病院あたりの来院傷病者数を示している。医療圏別では区東北部・区東部の連携病院に3,000人を超える黄タグ/赤タグの傷病者が来院する極

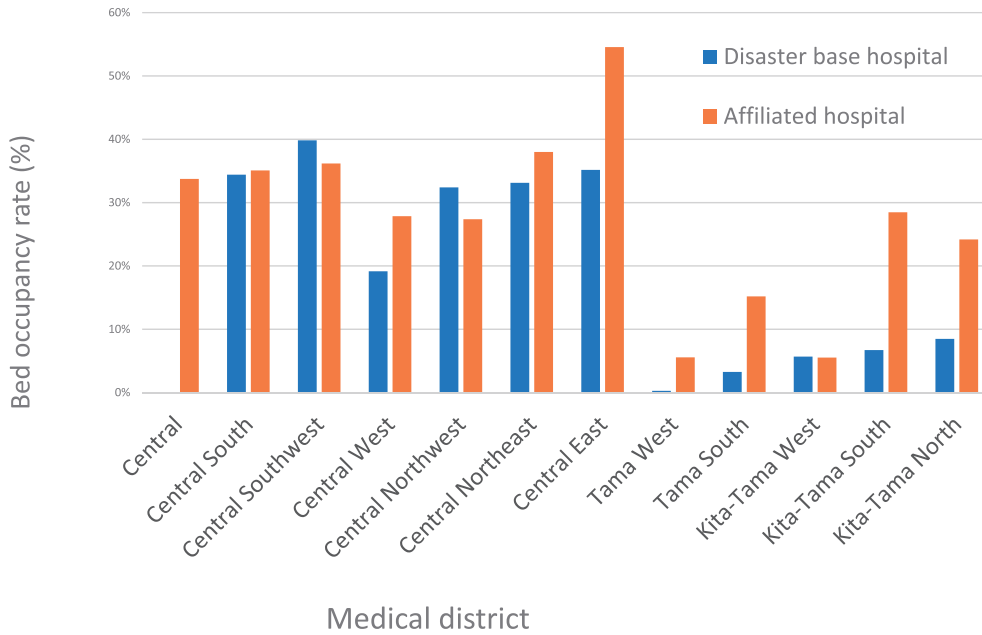


Fig. 4 Bed occupancy rate in each medical district

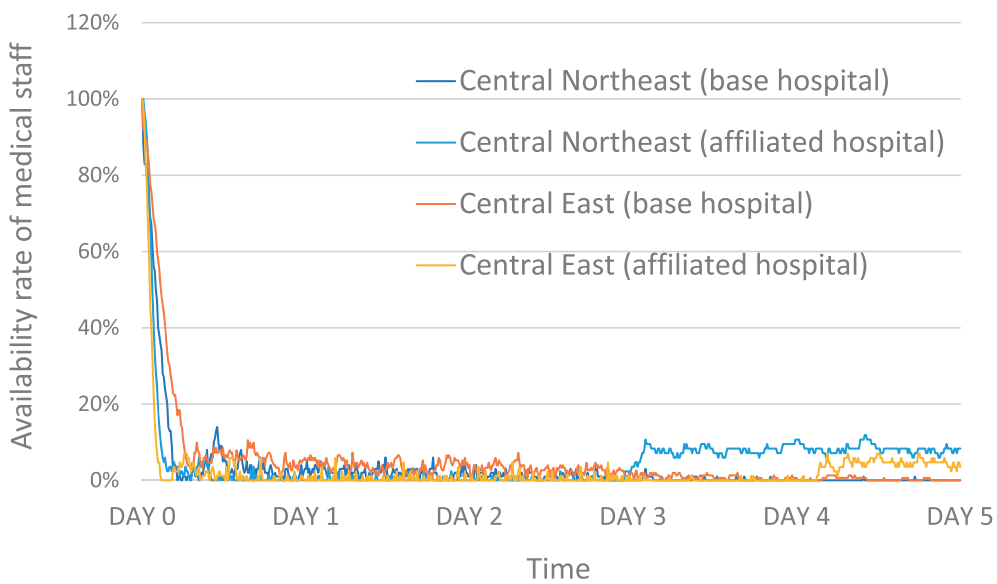


Fig. 5 Availability rate of medical staff in the Central Northeast and Central East medical districts

めて深刻な状況であることがわかる。1病院あたりの負荷をみてみると、250人を超える黄タグ/赤タグを受け入れることになるのは区東部の連携病院であり、続いて区南部連携病院、区東北部拠点病院/連携病院と続き、直近の病院を受診する場合には3医療圏の連携病院に相当な負荷がかかっていることがわかる。

次に医療救護活動を行った傷病者の転帰を示す (Fig. 2)。ここで“入院 (Hospital admission)”は医療機関での処置が完了し、域内の医療機関に入院する

ことができた傷病者数。“広域搬送 (Wide-area medical transportation)”は医療機関での処置が完了し、域外に搬送が完了した傷病者数。“処置前に死亡 (Death before treatment)”は傷病者の当初の医療機関到着から設定した時間内に処置に着手できず死亡とした傷病者数。“処置後に死亡 (Death after treatment)”は傷病者の処置は完了したが、設定した時間内に入院または域外搬送ができず死亡とした傷病者数とした。本シミュレーションの設定条件下においては、全傷病者 (21,520人)のうち医療機関で処置ができたのは、

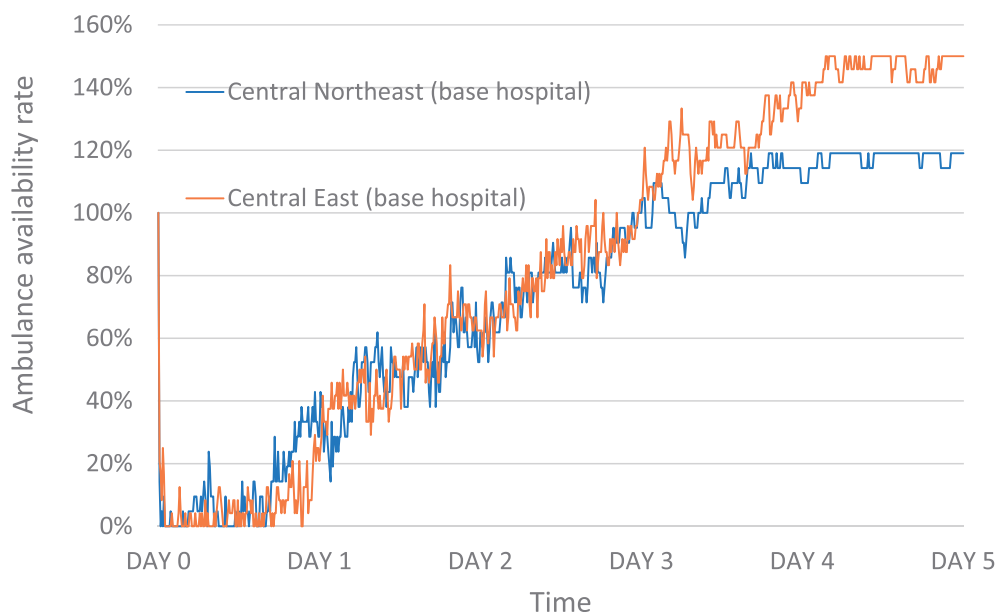


Fig. 6 Ambulance availability rate in 2 medical districts (Central Northwest and Central East) up to 5 days after the earthquake

14,986人(69.6%)にとどまり、67.0%にあたる14,422人は生存可能であった。また、処置が完了した傷病者(14,986人)のうち564人、3.8%は入院/広域搬送ができずに時間が経過してしまっている。傷病者の転帰を医療圏別に示したのがFig. 3である。傷病者が多数発生すると想定されている区東部/区東北部での処置前死亡が際立っている。

医療圏別に病床利用率を示したのがFig. 4であるが、区東部連携病院で病床利用が50%を超える程度で、それ以外の地域での病床利用は40%以下にとどまっていた。

医療スタッフの待機割合を処置前死亡の多い区東部/区東北部でみると発災当日の早い時点で待機者がいなくなる状況となり、医療救護班が支援に入っても人的リソースが圧倒的に不足している(Fig. 5)。ここで、Fig. 5以降の横軸でDay0と表示があるのは発災当日とし、Day1が発災翌日を示し、以降、Day2、Day3と続く。救急車両についてはDay1から待機車両が出現し日を追うごとに待機割合が上昇している(Fig. 6)。区東部/区東北部の処置前死亡の2時間当たりの推移と累積数をFig. 7-a, Fig. 7-bに示す。処置前死亡のピークはDay1からDay2にあり、発災後72時間以内の早期に多くの処置前死亡が起きている。同時期に処置待ち患者、処置患者のピークがある(Fig. 8-a, Fig. 8-b)。そのあとDay3頃から入院・搬送待ち患者数が増え始め(Fig. 9-a)、Day4頃から処置後死亡者が増え始めることが明らかとなった(Fig. 9-b)。

考 察

これまでの災害医療施策は過去の災害の教訓に基づくあるべき論によって計画が立案され、その計画に基づいて訓練が行われ、訓練の反省に基づいて施策が改善されていくという手法で行われてきている。阪神・淡路大震災(1995年)を一つの起点とし東日本大震災(2011年)等の自然災害で得られた教訓をもとに現在の災害医療体制は構築されている。災害拠点病院の整備、DMATの創設など阪神・淡路大震災以降の災害医療体制の確立は大きな進展である。一方、同震災で重要であると指摘された広域医療搬送の体制が整備され、毎年のように内閣府が主催して大規模に広域医療搬送訓練が行われているが、首都直下地震のような甚大な被害が想定される自然災害に対して広域医療搬送がどこまで有効なのか、災害医療対応の全体像からデータを算出して議論する手段が今までなかった。今回、我々が開発した災害医療シミュレーション・システムは、首都直下地震で想定される任意の震源地、任意の深さ、任意のマグニチュードから人的被害データが自動算出される開発済みのプラットフォーム上に、発災後の医療対応のフローを、待ち行列タイプの離散事象シミュレーションとして、再現させ、転帰を生存(入院/広域医療搬送)、死亡(処置前・後死亡)で算出して、施策の有効性を検討可能としたシステムである。このようなシステムは災害医療対応の分野で

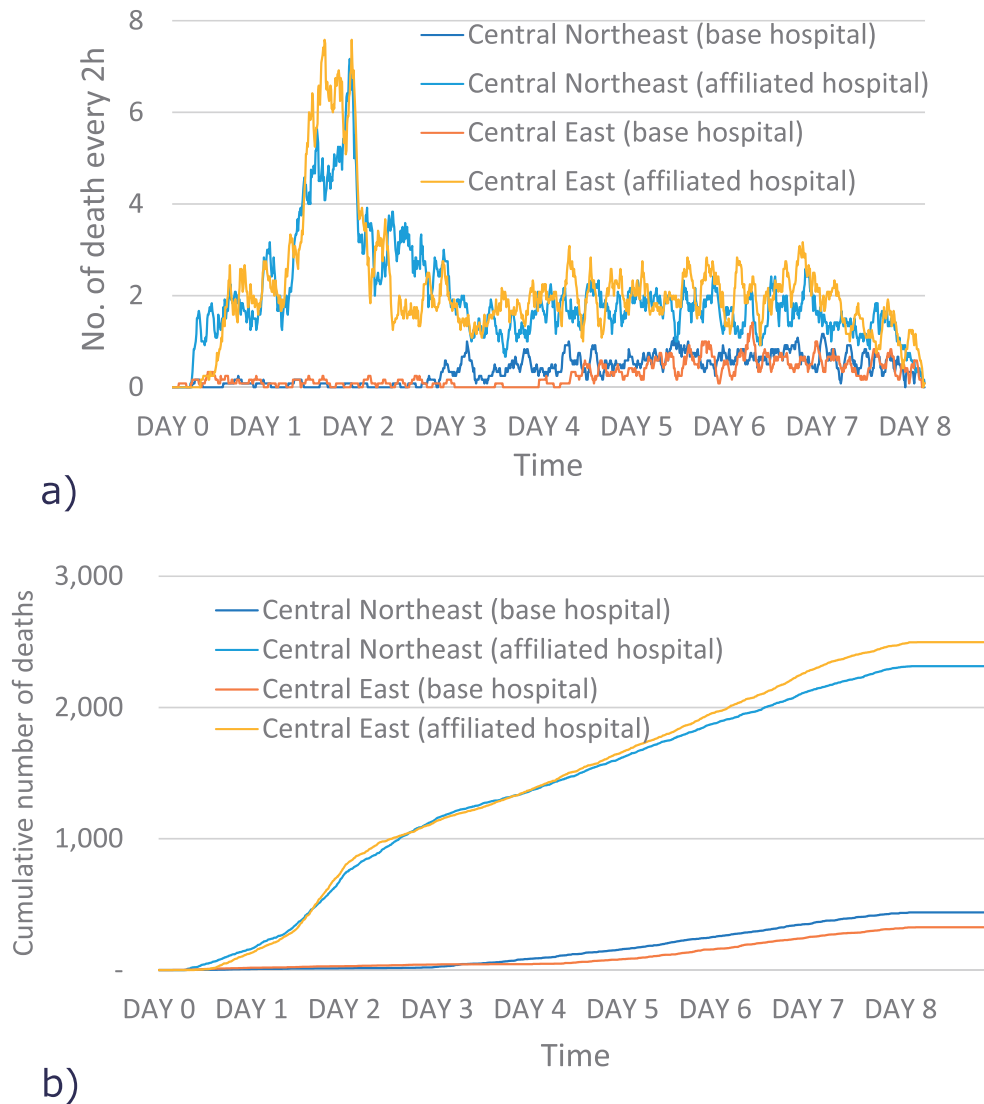
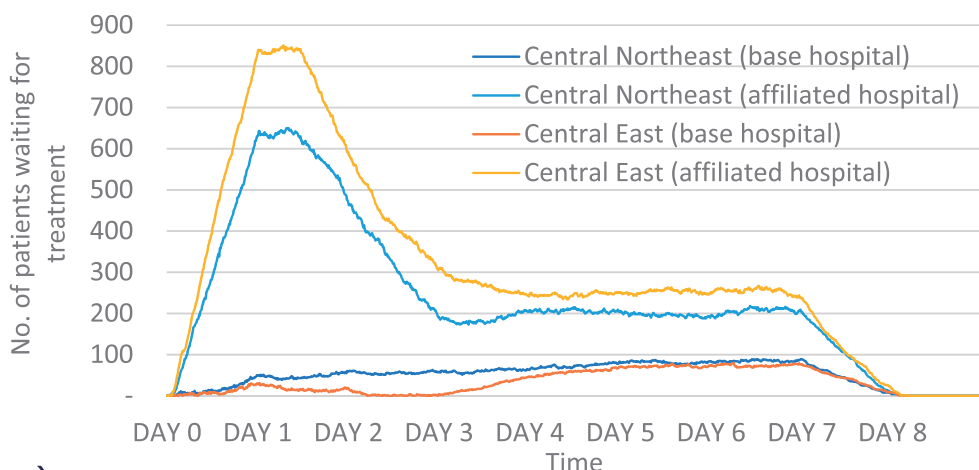


Fig. 7 a) Number of deaths every 2 h up to 8 days after the earthquake, b) Cumulative number of deaths before treatment up to 8 days after the earthquake

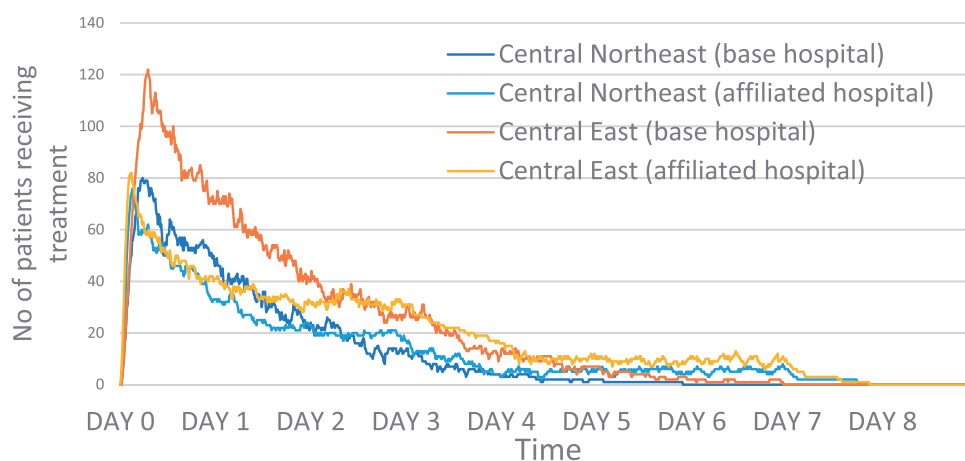
は皆無であり、本システムを活用することにより初めて、施策の有効性をデータで検討することが可能となった。

被害想定で示される人的被害の数字は、死者数、負傷者数とそのうちの重傷者数のみである。想定されるタイプの地震規模の大きさはこれらの数字から容易に想像できるが、それ以上の情報は得ることができない。人的被害の数字は発災直後のものであり、その後の時間経過のなかでさまざまな医療対応状況において負傷者数/重傷者数がどのように推移するのかについて算出されたデータはない。それは災害医療対応の全体を俯瞰できるシミュレーションが存在しなかったからである。これまで、災害関連死 A、すなわち“防ぎえる災害死”をどのように 0 にするのか、全体像から客観的に検討する術がなく、実地訓練で検証した

“パーツ”を組み合わせるしか方法がなかった。今回、開発した手法を用いて、【対象・方法】で記述した内容でパラメーターを設定した場合に、“当該災害による負傷の悪化が発災後の医療救護活動中に起こって死亡”する災害関連死 A がいつ、どのように起こるのかが明らかとなった。災害関連死 A は発災早期の発災後 72 時間以内に発生しており、多くは処置をする前に医療救護班の不足によって、処置を行えずに発生することが明らかとなった。これは現在の施策に大きく影響する。すなわち、これまでの災害医療対応は医療救護班が支援に入る際に、災害拠点病院の支援、広域医療搬送の体制確立に医療救護班が配置され、同部分の機能強化を災害医療の体制強化としている傾向がある。このことに異論はないものの、今回のシミュレーションで明らかになったのは、災害拠点病院の支援、



a)



b)

Fig. 8 a) Number of patients waiting for treatment up to 8 days after the earthquake, b) Number of patients receiving treatment up to 8 days after the earthquake

広域医療搬送の体制確立という現在の施策と比較検討した場合、災害関連死 A は災害拠点連携病院に傷病者が殺到している超急性期に発生しており、災害関連死 A を防ぐためにはより早期により多くの医療救護班を投入しないといけないということである。災害関連死 A を防ぐボトルネックは、現在、対策を重点的に講じている広域医療搬送や災害拠点病院のステップより前に存在しており、そのボトルネックを解消しない限り、重点的に施策を講じているステップにつながるのではないかとこの危惧が生じる。実際に、Fig. 4 が示すように新規に受け入れ可能な人数を平常時病床数分としてもその全部が埋まることは時間経過の中でなく、病院間搬送に使用する救急車も発災当日こそ待機車両がないほど運用されているものの、発災翌日から待機車両が出現していることがわかる。一方、医

療救護班が支援に入っても被災地内の人的リソースは時間経過中、圧倒的に不足している状況が続いている。この状況下で処置ができない傷病者があふれ、処置前死亡が著しく増加し、そのあとのフェーズから入院・搬送待ち傷病者数が増え始め、入院できず、かつ搬送できない処置後死亡が増加していることが結果からみてとれる。

災害関連死 A を 0 にすることを目標とした場合、発災現場からの傷病者の流れに沿って、ボトルネックを一つ一つ丁寧に解決していかなければならない。ボトルネックが前に存在しているのに、後方の対策を講じるのは合理的ではない。最初に存在するボトルネックを解消させ、解消後に新たに生じるボトルネックを究明し、その新たなボトルネックを解消するということを繰り返す手法で、丹念に検討を重ねることが肝要

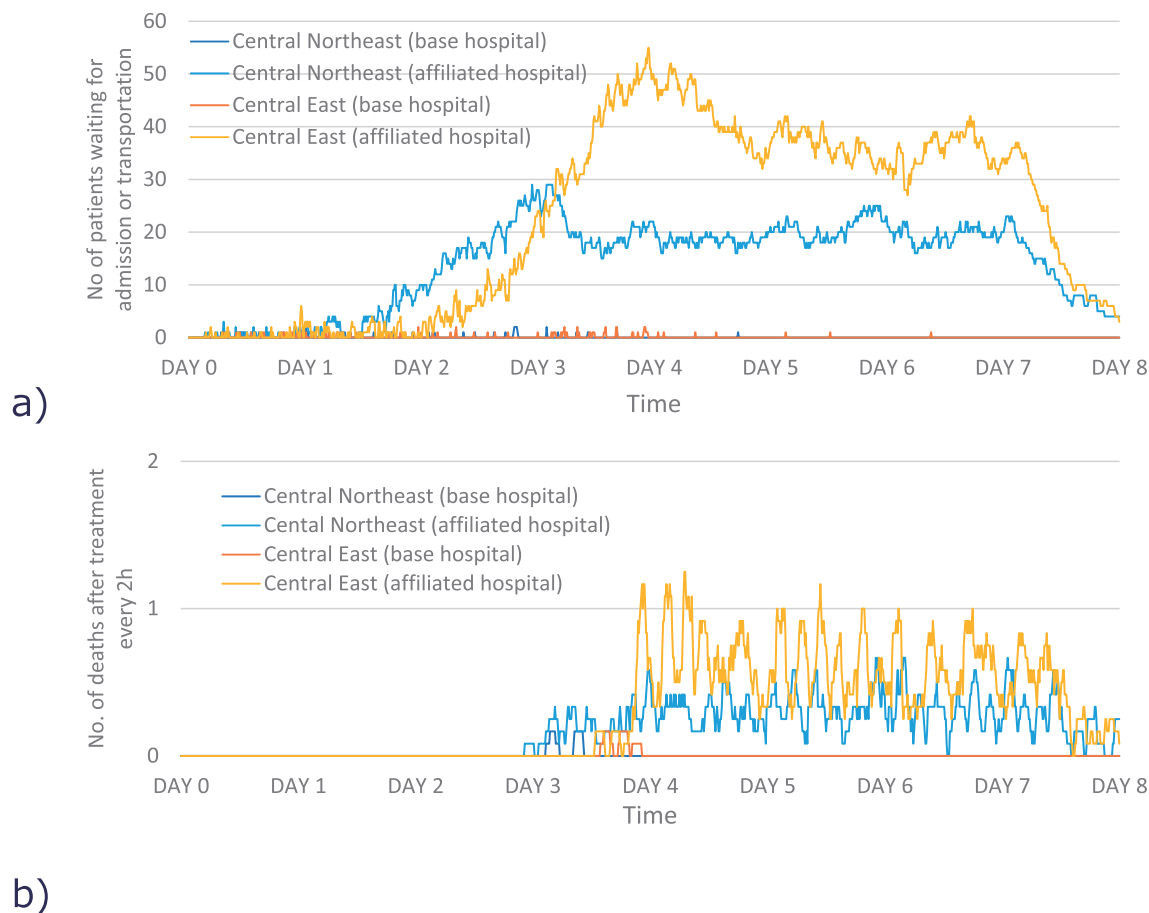


Fig. 9 a) Number of patients waiting for admission or transportation up to 8 days after the earthquake, b) Number of deaths after treatment every 2 h up to 8 days after the earthquake.

である。

今回の検討で明らかになったのは、圧倒的な人的リソースの不足である。しかも、早期、大量に投入しないとイケない。今回の検討では医療資源については人的リソースに付随するという仮定で行っているため、実際には人的リソースを投入する際には、同様に医療資源の投入も必要である。つまり、早期、大量に人的リソース、医療資源を投入しないと最初のボトルネックは解消されない。しかし、これを行うのは相当な困難があることが容易に想定されるため、ほかにも追加的に行える解決手法がないか十分な検討が必要である。

本検討での主な Limitation は次の通りである。

1. シミュレーション・システムのため、現実をそのまま反映しているわけではない。現実により近づけるため、今後、さらにシステムを精緻化する必要がある。
2. 病院の建物被害・ライフライン（水、電気など）の使用制限は今回、反映していない。現実はより厳しい状況であると想定される。

3. 支援病院は計算に入れていないので、連携病院への負荷が変動する可能性がある

結 論

災害医療シミュレーション・システムの開発で災害医療対応の全体を時間経過とともに俯瞰することが可能となり、パラメーター設定を変えてシミュレーションを繰り返し行うことで、より効果的な施策検討を短時間で行うことが可能となった。今後、本シミュレーション・システムを活用し、災害医療対応のボトルネックの究明と解消の検討を行って、施策に反映することが望まれる。

文 献

1. 東京都：東京都の新たな被害想定について。 https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/000/401/20120418gaiyou.pdf（最終アクセス 2019.7.31）。
2. 中央防災会議幹事会：首都直下地震における具体的な応急対策活動に関する計画。 http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/pdf/syuto_oukyu_5-1.pdf（最終アクセス

- 2019.7.31).
3. 東京都福祉保健局：災害時医療救護活動ガイドライン（第2版）。http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/iryo/kyuukyuu/saigai/guideline.files/hyosi_guideline2.pdf（最終アクセス 2019.7.31）。
 4. 中央防災会議：首都直下地震の被害想定項目及び手法の概要。http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_butsuri.pdf（最終アクセス 2019.8.13）。
 5. 田中 裕：吉岡敏治，田中 裕，松岡哲也，中村 顕編：阪神・淡路大震災の患者動態（初動体制と患者転送の実態）。集団災害医療マニュアル。2000; pp 43-50, へるす出版 東京。
 6. 阿南英明：分担研究報告“首都直下地震発生時の神奈川県におけるDMATの対応に関する研究”（平成26年度厚生労働科学研究費補助金。地域医療基盤開発推進研究事業「首都直下地震に対応したDMATの戦略的医療活動に必要な医療支援の定量的評価に関する研究」（研究代表者：定光大海）。2015; pp 47-56。
 7. 厚生労働省保健局医療課：平成30年度診療報酬改定の概要。医科I。<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12400000-Hokenkyoku/0000198532.pdf>（最終アクセス 2019.7.5）。
 8. 一般社団法人JPTEC協議会：JPTECガイドブック。改訂第2版，2016; pp 7-9, へるす出版 東京。
 9. 東京都福祉保健局：平成28年医療施設（動態）調査・病院報告結果報告書。http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/kiban/chosa_tokei/iryosisetsu/heisei28nen.html（最終アクセス 2019.7.5）。
 10. 東京消防庁：救急活動状況。<http://www.tfd.metro.tokyo.jp/ts/ems/page01.html>（最終アクセス 2019.7.5）。

（受付：2019年8月8日）

（受理：2019年8月26日）