

# 災害医療シミュレーション・システムを用いた首都直下地震の 発災後死亡を効果的に減少させるために必要な施策の検討

布施 明<sup>1,2,a</sup>, 布施 理美<sup>2,3</sup>, 太田 満久<sup>4</sup>, 長谷川 崇<sup>4</sup>,  
金田 佑哉<sup>4</sup>, 横堀 将司<sup>1,2</sup>, 猪口正孝<sup>5</sup>

## Effective measures to reduce the number of deaths after the Tokyo Inland earthquake

Akira Fuse<sup>1,2</sup>, Rimi Fuse<sup>2,3</sup>, Mitsuhsa Ohta<sup>4</sup>, Takashi Hasegawa<sup>4</sup>,  
Yuya Kaneta<sup>4</sup>, Shoji Yokobori<sup>1,2</sup>, Masataka Inokuchi<sup>5</sup>

**要旨** 【目的】災害医療対応シミュレーション・システムを用いて、首都直下地震発災後の人的被害や医療資源を想定し、効果的な医療活動を行うために有効な施策を検討した。【対象と方法】東京都ガイドラインの傷病者フローに従った。発生傷病者数、病床数、保健医療活動チーム数、域内搬送用救急車数、広域医療搬送用回転翼機数の数値を変化させた際の発災後死亡者数への影響を検討した。【結果および考察】発生傷病者数が想定<sup>1</sup>の21,511人では発災後死亡者数は6,641人(30.9%)であるが、想定<sup>1</sup>の0.8倍では3,934人(25.3%)、0.6倍では1,919人(14.5%)と減少し、0.4倍であれば、137名(1.6%)まで減少させることが示された。病床数は、そのみでは発災後死亡減少への寄与は僅かであることがわかった。保健医療活動チームは、派遣チーム数を増やすことができれば、死亡者が減少することがわかった。救急車や回転翼機数の発災後死亡者数減少への寄与は少ないことが示された。今回の検討は、あくまでもシミュレーション上の結果であり、現実を反映したものではない。【まとめ】首都直下地震を想定し、発生傷病者数、病床数、保健医療活動チーム数、救急車数、回転翼機数を検討した結果、傷病者数の減少、保健医療活動チーム数の増加により発災後死亡は減少する可能性が示唆された。今後は発生傷病者数を減らすための防災・減災努力を行うとともに、災害医療対応のベストミックスを検討する必要がある。

(日救急医学会誌. 2021; 32: 350-6)

キーワード：未治療死、医療崩壊、耐震化、離散事象シミュレーション、待ち行列モデル

**Purpose:** Using a simulation system, we developed and examined effective medical activity measures, assuming the human damage and medical resources available after the Tokyo Inland Earthquake.

**Materials and methods:** When the number of injured and sick people, beds, medical relief teams, ambulances for transportation within the region, and rotorcrafts for wide-area medical transportation changed, we examined the effect of these changes on the number of post-disaster deaths.

**Results and Discussion:** Of the estimated 21,511 cases of injuries and illnesses projected by the Cabinet Office in Japan, 6,641 (30.9%) deaths occurred after the disaster, as sufficient medical care was not provided based on our simulation. However, assuming 0.8, 0.6, and 0.4 times the expected number, post-disaster deaths decreased to 3,934 (25.3%), 1,919 (14.5%), and 137 (1.6%) in our simulation, respectively. The number of hospital beds, ambulances, and rotorcrafts contributed less to the reduction in post-disaster deaths. As the number of dispatched medical relief teams increased, the number of post-disaster deaths decreased during the simulation.

**Conclusion:** It is necessary to make disaster prevention and mitigation efforts and implement appropriate combinations of disaster medical treatments to reduce the number of injured and sick individuals.

(JJAAM. 2021; 32: 350-6)

<sup>1</sup> 日本医科大学付属病院高度救命救急センター

Department of Emergency & Critical Care Medicine, Nippon Medical School Hospital

<sup>2</sup> 日本医科大学救急医学

Department of Emergency & Critical Care Medicine, Nippon Medical School

<sup>3</sup> 東京大学大学院医学系研究科公共健康医学

Health Services Sciences, School of Public Health, Graduate School of Medicine, The University of Tokyo

<sup>4</sup> 株式会社ブレインパッド

BrainPad Inc.

<sup>5</sup> 東京都医師会

Tokyo Medical Association

<sup>a</sup> 〒113-8603 東京都文京区千駄木 1-1-5

原稿受理日：2021年3月31日 (JJAAM-2020-0136)

Keywords: untreated death, medical collapse, earthquake resistance, discrete event simulation, queue model

Received on March 31, 2021 (JJAAM-2020-0136)

## はじめに

内閣府は毎年、大規模地震災害医療活動訓練を行い、課題抽出・改善を行っているが、災害医療活動を経時的に俯瞰した検討はこれまで、あまり行われてこなかった。実地訓練は改善点を具体的に示せる利点がある一方、費用がかかり、多くは実施機関の自己満足に終始してしまう欠点があると指摘されている<sup>1)</sup>。災害医療活動を経時的に俯瞰する手法として、離散事象シミュレーションを用いた方法があり、災害医療計画の策定や研修などに有用であると報告されている<sup>2)</sup>。そこで、今回、災害医療シミュレーション・システムを新たに構築し、人的被害想定や災害医療活動のリソースなどを検討して、首都直下地震発生後の効果的な医療活動に資する施策について検討した。

なお、本研究はヒトを対象とした研究ではなく、匿名化に必要な情報はなく、症例報告ではない。

## 対象と方法

災害医療活動シミュレーション・システムを使用して、首都直下地震発災後の災害医療対応の検討を行った。

### 1. 災害医療対応シミュレーション・システム

我々が開発した待ち行列タイプの離散事象シミュレーション・システムを用いた<sup>3)</sup>。

### 2. 想定

2004年に内閣府が公表した東京湾北部地震を用いた。本想定から傷病者分布を策定し、傷病者を負傷した地点に最も近い医療機関に来院するという仮定のもとに傷病者の転帰を算出した<sup>4,5)</sup>。

### 3. 傷病者のフロー

医療機関に到着した傷病者に対して最初にトリ

アージを実施する。東京都医療救護ガイドラインに示された急性期に想定される傷病者のフローに従う。なお、東京都では、主に重症者の収容・治療を行う病院を災害拠点病院、主に中等症者や容態の安定した重傷者の収容・治療を行う病院を災害拠点連携病院として指定している。

#### (1) 処置前

例えば、赤タッグの傷病者であれば、拠点病院に搬送された場合は次のステップに移り、連携病院であれば、拠点病院に搬送された後、次のステップである処置が行われる。

#### (2) 処置

処置を行う際には1スタッフが必要であるとし、傷病者はスタッフが割り当てられるまで待機する。

#### (3) 処置後

処置後は入院可能であれば、入院となり、入院ができない場合は広域医療搬送の対象となる。入院させる場合は、傷病者1人につき1床と、急性期一般病棟の看護基準を参考に傷病者7人につき、1スタッフを必要とする<sup>6)</sup>。

#### (4) 域内医療搬送

傷病者は、次の場合に搬送が必要となる。①連携病院で赤タッグのステータスであり、拠点病院での処置または入院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、または入院済でSCUへの後方搬送が必要な場合である。搬送には、1スタッフと救急車1台が必要となる。

#### (5) 広域医療搬送

SCUに搬送された傷病者については、患者4人につき先着順にSCUの1スタッフを割り当て、回転翼機1台を使用して、遠方に転送することとした<sup>7)</sup>。

## 4. 傷病者のステータス変化

傷病者が来院した時点を起点として、スタッフが割り当てられない限り、時間経過とともに、黄タッグから赤タッグ、赤タッグから黒タッグと状態が悪

**Table 1.** Medical relief team dispatch rules.

<p>Medical relief teams with ambulances</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispatched to a disaster base hospital</li> <li>• Dispatched to the disaster base hospital with the largest number of victims per ambulance</li> </ul>
<p>Medical relief teams without ambulances</p> <p>Determine the dispatch destination and activity contents in the following priority order</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① Dispatched to SCU as administrator (2 teams / SCU)</li> <li>② Dispatched to SCU as a staff in charge of wide area medical transportation</li> <li>③ Up to 5 teams will be dispatched as SCU staff</li> <li>④ Dispatched as staff to disaster base hospitals and affiliated hospitals</li> </ol>

化するものとする。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た<sup>8)</sup>。

### 5. 保健医療活動チームの投入

急性期に参集する保健医療活動チームの総数は、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、DMAT以外の保健医療活動チームも参画するとして350チームとし、発災3日目まで一定間隔で保健医療活動チーム集結拠点に発生し待機するものとした<sup>7)</sup>。保健医療活動チームは1時間ごとに **Table 1** に示したルールに基づいて派遣先が決定されるものとした。

### 6. 主な医療資源の設定

#### (1) 被災医療機関のスタッフ数等

被災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常勤医師数を参考とした<sup>9)</sup>。

#### (2) 被災時の病床数

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、新たに病床数分を確保して平常時の病床数の2倍とした。

#### (3) 被災地の救急車の初期台数等

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<sup>10)</sup>。

### 7. 検討項目

シミュレーション上、可変できるパラメータの中

から、防災・減災、および災害医療対応などの努力により数値の変更が実際に可能と考えられる設定項目を選択し、これらの項目の数値を変化させた場合に災害関連死の増減にどのように影響するかを検討した。

選択した設定項目は、

- (1) 発生傷病者数
- (2) 病床数
- (3) 保健医療活動チーム数
- (4) 域内搬送に使用する救急車数
- (5) 広域医療搬送に使用する回転翼機数である。

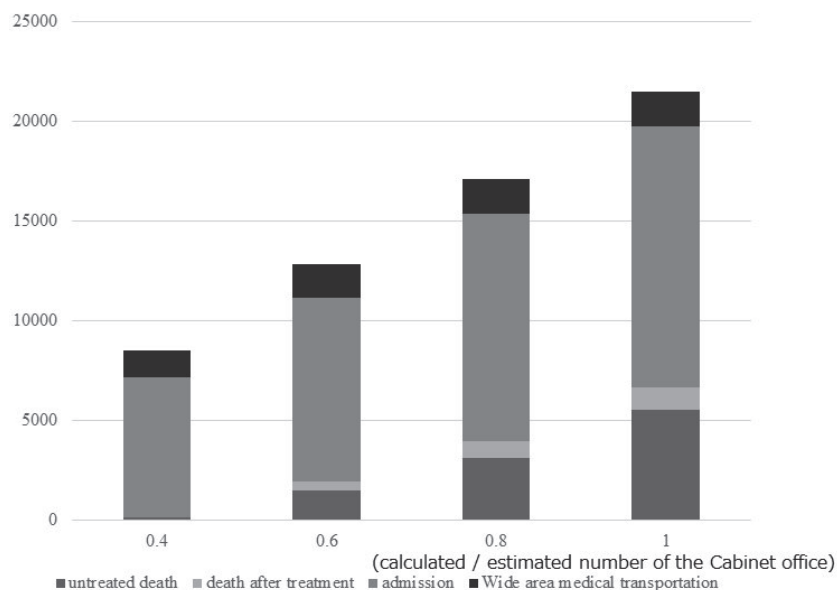
### 8. 検討方法

それぞれの項目で、既定値から数値を変化させた際、発災9日後における傷病者の転帰を4つに分類・算出し、検討した。①未治療死(発災時に死亡する災害死を免れたが、発災後、処置が行えずに死亡に至ること)、②処置後死亡(処置を行うことはできたが、入院もしくは広域医療搬送が行えずに死亡すること)、③入院、④広域医療搬送である。

## 結 果

#### 1. 発生傷病者数を変化させた場合 (Fig. 1)

既定値では21,511人の傷病者に対して6,641人(30.9%)が死亡するが、発生傷病者数が既定値の0.4倍であれば、137名(1.6%)まで死亡者数および発生傷病者数における死亡者数の割合を減少させることが示された。



**Fig. 1.** Outcomes when changing the number of victims.

The outcomes of the victims are shown when the number of victims is changed to 0.4-, 0.6-, and 0.8 times the estimated number of the Cabinet Office. If 21,511 people are victims, as estimated by the Cabinet Office, 6,641 people (30.9%) will die after the disaster. However, the number of deaths after the disaster decreased to 3,934 (25.3%), 1,919 (14.5%), and 137 (1.6%) when 0.8, 0.6, and 0.4 times the estimated number was used, respectively.

## 2. 病床数を変化させた場合

**Fig. 2a** に、病床数を既定値の場合、すなわち、新たに病床数分を確保して平常時の 2 倍にする場合と、平常時の 1.5 倍、3 倍、4 倍に増減させた場合の傷病者の転帰を示す。病床数を平常時の 1.5 倍にすると死亡者数が 7,401 人と増加し、死亡者の比率が 34%まで上昇するが、病床数を平常時の 3 倍や 4 倍に増床しても死亡者数は微減するだけで、死亡者の比率も 3 割前後でほとんど変化がないことがわかる。

## 3. 保健医療活動チーム

**Fig. 2b** に、被災地に派遣される保健医療活動チーム数別の傷病者の転帰を示す。保健医療活動チームが既定値の半分の 175 チームしか被災地で活動できない場合、死亡者数は 7,518 人 (34.9%) まで増加し、2 倍の 700 チームが活動した場合は、死亡者数は 5,435 人 (25.3%) まで減少することが示された。

## 4. 域内搬送に使用する救急車数 (Fig. 3a)

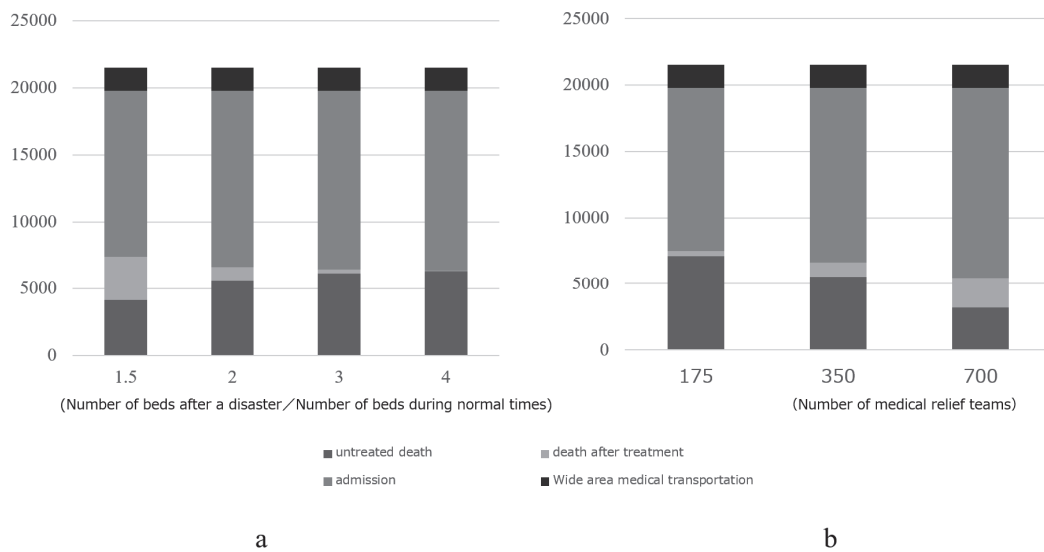
救急車数が 1 台のときの死亡者数 6,932 人 (全傷病者数に占める死亡者の割合; 32.2%) であり、3 台、6 台、12 台の場合、それぞれ死亡者数が 6,641 人 (30.1%)、6,573 人 (30.6%)、6,521 人 (30.3%) であることが示された。

## 5. 広域医療搬送に使用する回転翼機数 (Fig. 3b)

回転翼機が既定の 2 機ときの死亡者数 6,641 人 (全傷病者数に占める死亡者の割合; 30.1%) であり、3 機、6 機、12 機の場合、それぞれ死亡者数が 6,545 人 (30.4%)、6,321 人 (29.4%)、6,052 人 (28.1%) であることが示された。

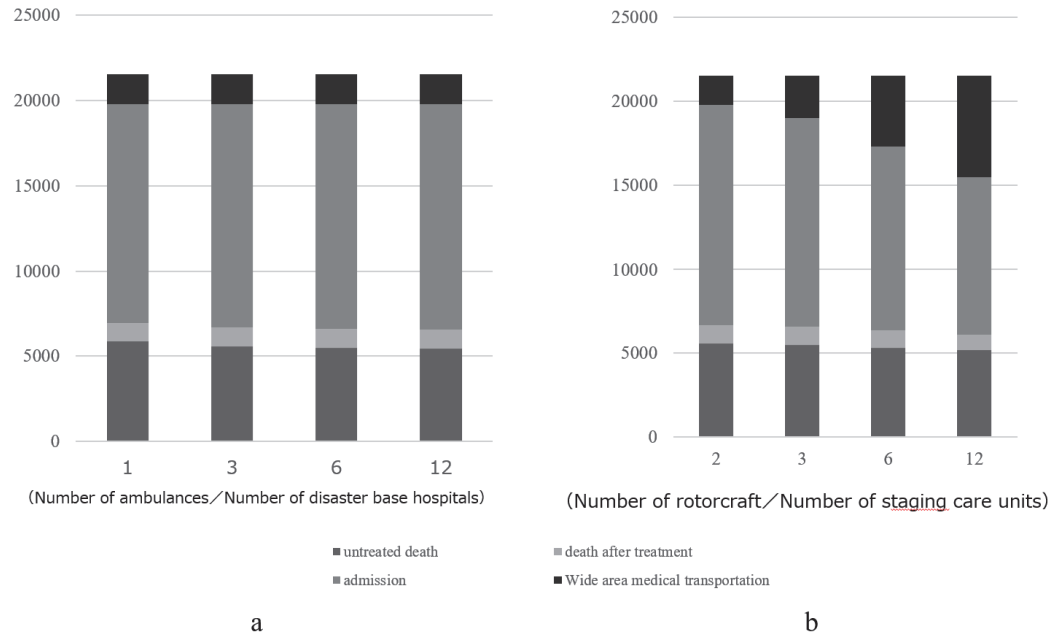
## 考 察

発生傷病者数を減らすためには、建物の倒壊を防ぐための耐震化率の上昇や家具の転倒防止対策、通電火災予防の徹底などが必要と考えられる。耐震化率の上昇や家具転倒防止対策の徹底が発生傷病者数を



**Fig. 2.** Outcomes of victims when the number of medical resources available is changed.

- a: Outcomes of victims when the number of hospital beds after a disaster is changed are shown. The outcomes of victims when the number of hospital beds is increased to 1.5 times, 2 times, 3 times, and 4 times the normal number after the disaster is shown. If the number of hospital beds is increased to 1.5 times the normal number, the number of deaths will increase to 7,401 and the ratio of deaths will rise to 34%, but if the number of hospital beds is increased to 4 times the normal number, the number of deaths will decrease slightly. It can be seen that the ratio of deaths is approximately 30%, which is almost unchanged.
- b: Outcomes when the number of medical relief teams dispatched is changed are shown. If only 175 medical relief teams, which is half the expected number, are dispatched the death toll will increase to 7,518 (34.9%). If medical relief involves 700 teams, which is twice as that expected, the number of deaths will decrease to 5,435 (25.3%).



**Fig. 3.** Outcomes of victims when the number of transportation resources is changed.

- a: Outcome of victims when the number of ambulances used for intra-regional transportation is changed are shown. The outcomes of victims when the number of ambulances used for intra-regional transportation is changed to 1, 3, 6, and 12 per hospital are shown. The number of deaths when the number of ambulances is one per hospital is 6,932 (the ratio of deaths to the total number of victims; 32.2%). In the case of 3, 6, and 12 ambulances per hospital, the number of deaths is 6,641 (30.1%), 6,573 (30.6%), and 6,521 (30.3%), respectively.
- b: Outcomes of victims when the number of rotorcraft, which is used in wide-area medical transportation, is changed are shown. The number of fatalities when there are two rotorcraft per Staging Care Unit (SCU) is 6,641 (the ratio of fatalities to the total number of victims; 30.1%). When there are 3, 6, and 12 rotorcraft per SCU, the death toll is 6,545 (30.4%), 6,321 (29.4%), and 6,052 (28.1%), respectively.

減らすという直接のデータはないが、これらが直接の災害死を減少させることについては、中央防災会議「首都直下地震の被害想定と対策について」（首都直下地震対策検討ワーキンググループ，2013年12月）で言及されている。同会議では耐震化率が100%となれば，11,000人の災害死数は約1,500人（86%減）になると評価している。耐震化率100%のときに傷病者数は公表されていないが，災害死数が86%減になると同様に傷病者数も減少する可能性が高い。また，家具などの転倒・落下防止対策を強化した場合，災害死数は，現状の約1,100人から約400人（64%減）へ，重傷者数は約6,400人から約3,500人（45%減）に減少するとされている。耐震化率上昇や家具転倒防止対策の徹底によって発生傷病者数を減らすことができれば，発災後の未治療死も大幅に減少する（Fig. 2）と考えられる。

病床数であるが，さらに2倍，4倍に増やしたとしても，死亡者はやや減少するだけである。病床数のみを増やしても災害関連死の減少への寄与は僅かであり，病床数を変化させる場合はスタッフ数など他の医療リソースと合わせて検討する必要がある。

保健医療活動チームについては，少しでも多く派遣できるほうが良いと考えられる。

救急車であるが，死亡者数が減少せず，ほとんど影響しない結果となった。多くの傷病者が直近病院に集中する状況では，当該病院でどこまで処置を行えるかが死亡者の減少にとって重要であり，救急車の配置を増やしても急性期の未治療死などの死亡を減少させる効果は限定的である可能性が示唆された。

回転翼機については，機数を増やせば広域医療搬送に回る生存者数は増えるが，死亡者数そのものがほとんど変化しないのは，死亡の原因が発災直後から拠点病院などの域内病院での医療救護のフェーズ前後，つまり，広域医療搬送のフェーズより，“上流”にあるため，その“上流”のボトルネックを解消しない限り，広域医療搬送を改善しても死亡者数の減少にほとんど寄与しないことが明らかとなった。

今回の検討は，あくまでもシミュレーション上の結果であるため，現実を反映したものではない。

検討した項目については，ある程度現実的な範囲を勘案して数値を検討した。どの項目も防災・減災努力を行う，あるいは災害医療対応を手厚くする方向で数値を変更した場合，未治療死を減らすことができ，発災後死亡を減らすことに寄与することがわかった。なかでも，発生負傷者数を減らすことが，未治療死を減らすことに大きく関わっていることが明らかになり，防災・減災努力は発災後に同時・大量に発生する傷病者に対応できずに起こる医療崩壊を食い止めるうえで重要であることが改めて明らかになった。建物の耐震化，家具の転倒防止・通電火災防止対策などは災害医療対応の予防的側面から極めて重要である。一方，医療側としては，傷病者を未治療死に陥らせずに救命できるように，効果的な医療体制を提供することが肝要である。防災・減災努力で現実的に抑制しうる発生傷病者数を基に発災後死亡を0にするための災害医療対応の最適組み合わせ（ベストミックス）を考える必要があると考えられた。

## 結 語

開発済みの災害医療対応シミュレーション・システムを使用して首都直下地震の発災後死亡を減少させるために必要な項目の検討を行った。検討した発生傷病者数，病床数，保健医療活動チーム数，救急車数，回転翼機において，傷病者数の減少，医療対応の増加により発災後死亡は減少することが確認された。今後は発生傷病者数を減らすための防災・減災努力を行うとともに，災害医療対応のベストミックスを検討する必要がある。

## 謝 辞

本論文のプログラム調整・データ分析にあたり，株式会社ブレインパッドの葦原祐介氏，廣岡大吾氏，伊藤多一氏，早川遼氏，清水民子氏，株式会社ライフヘッドの坂慎弥氏にはひとかたならぬご協力を

いただきました。心より感謝いたします。

なお、本研究は文部科学省科学研究費基盤研究  
(B) 16H03155 の助成を受けたものです。

本論文の骨子は、第 48 回日本救急医学会総会・学  
術集会において発表した。

本稿において開示すべき利益相反はない。

## 文 献

- 1) Hirshberg A, Holcomb JB, Mattox KL: Hospital trauma care in multiple-casualty incidents: a critical view. *Ann Emerg Med.* 2001; 37: 647-52.
- 2) Fawcett W, Oliveira CS: Casualty treatment after earthquake disasters: development of a regional simulation model. *Disasters.* 2000; 24: 271-87.
- 3) 布施理美, 鈴木進吾, 布施明, 他: 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. *日医大医会誌.* 2019; 15: 170-81.
- 4) 田中裕: 阪神・淡路大震災の患者動態 (初動体制と患者転送の実態). 吉岡敏治, 田中裕, 松岡哲也, 中村顕 (編). 集団災害医療マニュアル. へるす出版, 東京, 2000, p43-50.
- 5) 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”. 定光大海 (研究代表者). 2015; p47-56.
- 6) 厚生労働省保険局医療課: 令和 2 年度診療報酬改定の概要 (入院加療). Available online at: <https://www.mhlw.go.jp/content/12400000/000691039.pdf>. Accessed June 27, 2020.
- 7) 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. Available online at: [http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/pdf/syuto\\_oukyu\\_5-1.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/pdf/syuto_oukyu_5-1.pdf). Accessed June 27, 2020.
- 8) 一般社団法人 JPTEC 協議会: JPTEC ガイドブック 改訂第 2 版. へるす出版, 東京, 2016, p7-9.
- 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. Available online at [http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/kiban/chosa\\_tokei/iryosisetsu/heisei28nen.html](http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/kiban/chosa_tokei/iryosisetsu/heisei28nen.html). Accessed June 27, 2020.
- 10) 東京消防庁: 救急活動状況. Available online at: <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/ts/ems/page01.html>. Accessed June 27, 2020.