

# マルチエージェントシステムによる 傷病者輸送シミュレータの開発

荒谷 太郎<sup>1</sup>・間島 隆博<sup>2</sup>・小濱 英司<sup>3</sup>・山田 泉<sup>4</sup>・  
大矢 陽介<sup>5</sup>・青山 久枝<sup>6</sup>・松倉 洋史<sup>7</sup>

<sup>1</sup>正会員 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 主任研究員  
(〒181-0004 東京都三鷹市新川6-38-1)

E-mail: aratani@m.mpat.go.jp

<sup>2</sup>非会員 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 系長  
(〒181-0004 東京都三鷹市新川6-38-1)

E-mail: majy@m.mpat.go.jp

<sup>3</sup>正会員 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 グループ長  
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail: kohama-e83ab@p.mpat.go.jp

<sup>4</sup>正会員 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 主任研究員  
(〒182-0012 東京都調布市深大寺東町7-42-23)

E-mail: i-yamada@mpat.go.jp

<sup>5</sup>正会員 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 主任研究員  
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail: ooya-y@p.mpat.go.jp

<sup>6</sup>非会員 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 研究員  
(〒182-0012 東京都調布市深大寺東町7-42-23)

E-mail: aoyama@mpat.go.jp

<sup>7</sup>非会員 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 系付上席  
(〒181-0004 東京都三鷹市新川6-38-1)

E-mail: matukura@m.mpat.go.jp

わが国は災害大国である。近年でいえば、2011年に発生した東日本大震災をはじめ、2016年熊本地震、2018年西日本豪雨など、地震に限らず、水害や台風など多くの災害が起きている。特に東日本大震災のように被災範囲が広域に及んだ場合、救援活動は広域的な支援態勢が必要となる。大規模災害時、被災現場へは主に陸路によりアクセスされるが、津波や崖崩れ等により陸路が寸断すると、広い範囲に孤立地域が発生することが考えられる。大規模かつ広域的な災害においては、陸・海・空の利用可能な輸送手段を最大限活用することが求められる。本稿では、現在開発途中である陸・海・空の連携したマルチエージェントシステムによる傷病者輸送シミュレータについて紹介する。また、仮想の都市におけるヘリコプター及び車両による傷病者輸送シミュレーションを実施した結果について、輸送機材ごとの救助人数及び病床使用率の観点から考察を行った。

**Key Words :** large-scale disaster, rescue activities, multi-agent simulation

## 1. はじめに

わが国は災害大国である。近年でいえば、2011年に発生した東日本大震災をはじめ、2016年熊本地震、2018年

西日本豪雨など、地震に限らず、水害や台風など多くの災害が起きている。特に被災範囲が複数県に跨がるような広域に及んだ場合、救援活動は広域的な支援態勢が必要である。多くの自治体では、あらゆる災害に対して、

地域防災計画を策定しており、例えば、静岡県地域防災計画<sup>1)</sup>は、共通対策編の他に、地震対策編、津波対策編、原子力災害対策編、風水害対策編、火山災害対策編、大火災害対策編、大規模事故対策編、資料編 1・2 構成されている。

特に地震では、南海トラフ沿いの地域においてマグニチュード 8~9 クラスの地震が 30 年以内に発生する確率が 70~80% (平成 31 年 1 月 1 日現在) といわれている<sup>2)</sup>。そのため多くの自治体では、南海トラフ地震が発生した際の地震被害想定を公表<sup>3)</sup>している他、施設面の港湾や空港等の交通結節点においては BCP 計画<sup>4)</sup>、医療関係においては医療支援計画<sup>5)</sup>など、国や自治体においてさまざまな部局・組織において地震等に備えた対策が行われている。これらの多くは、過去の大規模災害を教訓として計画が策定され、さらに毎年のように更新されている。

本研究では、過去の災害の教訓を活かせるように、事前にさまざまなシナリオ群を確認して、将来への備えが十分かどうか確認できるシミュレータの開発を目的としている。本稿では、現在開発中である陸・海・空の連携したマルチエージェントシステムによる傷病者輸送シミュレータの紹介を行う。また、仮想の都市におけるヘリコプター (以下、ヘリとする) 及び車両による傷病者輸送シミュレーションを実施した結果について、輸送機材ごとの救助人数及び病床使用率の観点から考察を行う。

## 2. 傷病者輸送シミュレータ

### (1) マルチエージェントシステムによるシミュレータ

本研究において開発しているシミュレータは、輸送機材 (ヘリ、車両) による傷病者の輸送を対象としている。そのため、輸送機材の動きをできるだけ現実に近い条件に設定し、その動作をミクロな視点で捉える必要があるため、マルチエージェントシステムを採用している。マルチエージェントシステムは、集合知や社会システムの分析など、複雑な現象を解明する目的で盛んに活用されている。マルチエージェントシステムでは、個々のエージェントがある環境内で定められた行動ルールに従い、判断、行動するが、その行動が環境をも変化させるため、自らの行動にも影響を及ぼす。本研究では、輸送機材をエージェントとしてモデル化し、その行動をシミュレートすることにより、輸送機材による救助を再現することとする。

### (2) シミュレータの行動ルール

本研究において、輸送機材による救助の 1 ミッションは、出発地 (輸送機材の所在地) を出発した輸送機材が

傷病者 (以下、要救助者とする) の集まっている場所まで移動し、要救助者を乗せて災害拠点病院まで運ぶまでと定義する。その上で、各輸送機材の一つひとつを 1 エージェントと考え、自らが向かう場所を決定する。輸送機材の行動は以下のとおりである。

#### ①要救助者に対して、空いている輸送機材の中から、最短時間で救助できる輸送機材を選定

空いている輸送機材について、以下の時間を計算し、最小の合計時間となる輸送機材を選定する。ただし、別の要救助者を搬送している輸送機材が向かった方が早い可能性もあるので、最終的な決定は③で行う。

- ・ 現在地から要救助者がいる場所までの移動時間
- ・ 要救助者の救助時間
- ・ 要救助者を救助した場所に最も近い災害拠点病院までの移動時間
- ・ 災害拠点病院での降車・降機待ち時間 (活動内容の決定を行う時点での待ち時間の長さ)
- ・ 災害拠点病院での降車・降機時間

#### ②選定時点で搬送中である他の輸送機材の方が早いかを計算 (他が早ければ任せ、①に戻る)

①で選定した輸送機材による救助より、選定時点で搬送中である他の輸送機材が向かった方が早いかどうか①同様の合計時間を計算する。他の輸送機材の方が早ければ、その要救助者は他の輸送機材に任せ、再度①の計算を行う。

#### ③最終決定

①で選定した輸送機材の方がミッションを最短で終了できる場合、要救助者と災害拠点病院を決定してミッションに移る。ミッション終了後は①に戻る。

## 3. シミュレーションの前提条件

本研究では、都道府県規模のエリアにおいて、大規模地震が発生した際の救助をシミュレーションすることとする。大規模災害時に県内に発生した要救助者を輸送機材 (ヘリ、車両) によって災害拠点病院まで運ぶものとする。なお、本シミュレータは開発段階であるため、**図-1** のようなエリアを四つに分けた仮想の都市規模、病院、要救助者を配置してシミュレーションを実施した。エリア 0 は、他のエリアと比較して要救助者が約 120 人と少ないが、エリア内に広域搬送拠点臨時医療施設 (以下、SCU とする) または災害拠点病院が無く、他のエリアの病院か SCU への搬送が必要となる。エリア 1 は、要救助者約 700 人に対して車両 33 台で対応する。ヘリの駐機は無い。エリア 2 は、約 4,000 人の要救助者に対してヘリ 2 機、車両 35 台で対応する。エリア 3 は、エリア 2 と同様の要救助者数であるが、ヘリ 1 機、車両 50 台で

対応する。なお、輸送機材であるヘリは、初期位置はエリア 2 に 2 機、エリア 3 に 1 機配置しているが、全てのエリアで活動が行えることとした。車両は、エリア内のみで活動が行えることとした。その他の前提条件については、**表-1** に示すとおりである。

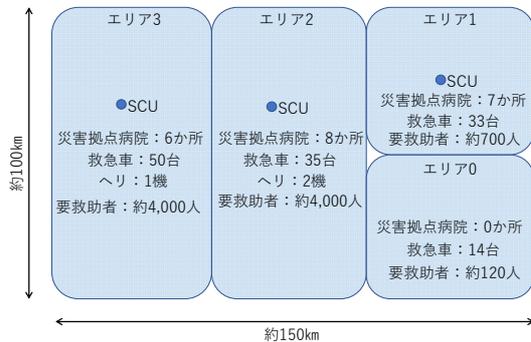


図-1 対象地域と救助要請人数

表-1 前提条件

前提条件	
救助対象エリア	東西150km、南北100km程度の自治体の中に、約9000人の要救助者が発生したと仮定
輸送機材数	ヘリ3機（全エリアの救助を担当） 車両132台（エリア内の救助を担当）
災害拠点病院数	21カ所
SCU数	3カ所
要救助者発生場所	救助対象エリアにランダムに配置
要救助者発生時間	24時間以内にランダムに発生

#### 4. シミュレーションの結果

##### (1) 輸送機材ごとの救助人数

ヘリと車両において平均搬送距離と救助人数の関係を図-2 に示した。グラフは大きく三つのグループに分かれており、救助人数が少なく平均搬送距離が長いグループはエリア 0 を担当した車両であった。エリア 0 の地域は災害拠点病院及び SCU がエリア外になるため、平均搬送距離が長くなり、必然的に救助人数が少なくなった。また平均搬送距離が短く救助人数が多いグループは、輸送機材がヘリであった。ヘリは巡航速度約 200km/h と車両と比較しても速いため、多くの要救助者を搬送できたものと考えられる。残りのグループはエリア 1~3 を担当した車両であった。救助人数は 10~20 人前後となっており、ほぼピストン輸送のように要救助者の発生場所と病院を往復していた。以上の結果より、仮想のエリア内の結果ではあるが、周辺に病院が無い場合は、搬送距離が長くなり、救助人数が減少すること、またヘリは車両の 3 倍程度の救助が可能ということが明らかになった。

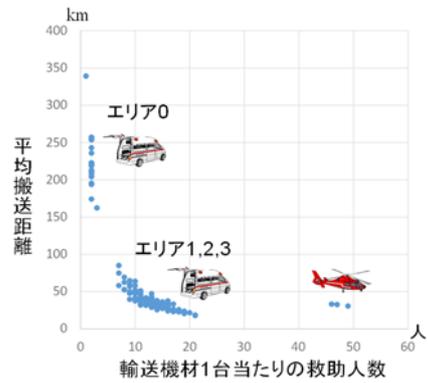


図-2 平均搬送距離と救助人数の関係

##### (2) 災害拠点病院ごとの救助者数と病床利用率

災害拠点病院ごとの救助者数と病床利用率を図-3 に示した。なお、病床数は一律 500 床と仮定し、24 時間後の救助者数と 48 時間後の救助者数を示した。まず、全てのエリアにおいて 24 時間以内に救助が完了したエリアは無かった。48 時間以内とした場合、エリア 1 の救助は完了していた。エリア 0 は、要救助者が約 120 人と少ないが、エリア内に災害拠点病院が無いために、片道 100km 程度あるエリア 1 の SCU 及び病院へと搬送が必要となる。そのため、48 時間時点でも救助が完了できていない状態となった。エリア 1 は病院が 7 カ所あり、車両も 33 台と比較的バランスよく配置されていたために、48 時間以内に救助が完了したものと考えられる。なお、エリア 1 で要救助者の搬送を終えたのは 43 時間後であった。エリア 2、エリア 3 については、両エリアとも 48 時間時点で救助は完了しなかった。エリア 2 の救助完了率は約 19%、エリア 3 の救助完了率は約 41%であった。

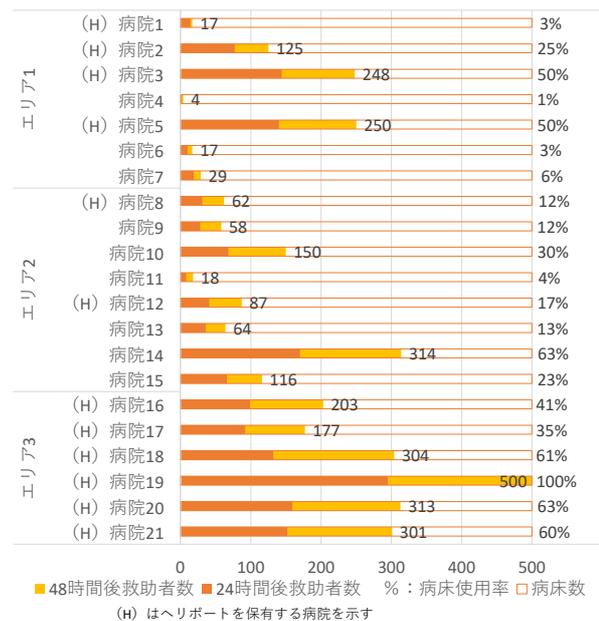


図-3 対象地域と救助要請人数

エリア 3 の方が救助完了率が高いのは、車両の台数がエリア 3 の方が多く、要救助者の搬送を 48 時間で多く実施できたことによるものと考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、マルチエージェントシステムによる傷病者輸送シミュレータについて紹介を行い、仮想の都市におけるシミュレーションを実施し、輸送機材ごとの救助人数及び病床使用率の観点から考察を行った。周辺に災害拠点病院が無い場合は、車両による救助は搬送距離が長くなり、救助人数が減少することがいえ、要救助者の救助に時間がかかる可能性が示唆された。このような場合は、ヘリを活用することも有効と考えられるが、ヘリは巡航速度約 200km/h と車両と比較しても速く、要救助者を多く救助できるメリットはあるものの、機材数が限られる問題がある。両者のバランスをどう考えていくかは今後の課題といえる。

現在のシミュレータの機能としては、ヘリで救助された場合は、ヘリポートを保有する災害拠点病院へしか搬送できず、途中での車両への載せ替え等は考慮できていない。また、今回は傷病者を要救助者として一律で扱ったが、実際の傷病者は、トリアージ<sup>\*1</sup>により重傷者、中等症者といったクラス分けがなされている。今後はこれらの条件や情報を考慮したシミュレーションが可能となるよう、改良を進める予定である。

**謝辞：**本研究は国土交通省の交通運輸技術開発推進制度（JPJ002223）の助成を受けたものである。

## 補注

\*1 トリアージ (triage) とは、大事故・災害等において、医療資源が制約される中で、一人でも多くの傷病者に対して最善の治療を行うため、傷病者の緊急度に応じて、搬送や治療の優先順位を決めること。

## 参考文献

- 1) 静岡県危機管理部危機政策課：静岡県地域防災計画ホームページ、<http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/seisaku/keikaku.html> 最終閲覧：2020年6月15日。
- 2) 内閣府（防災担当）：南海トラフ地震の多様な発生形態に備えた防災対応検討ガイドライン【第1版】、令和元年5月。
- 3) 例えば、高知県危機管理部南海トラフ地震対策課：【高知県版】南海トラフ巨大地震による被害想定について、<https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/higaisoutei-2013.html> 最終閲覧：2020年7月2日。
- 4) 例えば、国土交通省四国地方整備局、徳島県：徳島小松島港の機能継続のための対応指針、<https://www.pref.tokushima.lg.jp/ippanokata/kendozu-kuri/kowan/2015012300190> 最終閲覧：2020年7月2日。
- 5) 例えば、高知県健康政策部健康対策課：南海トラフ地震時重点継続要医療者支援マニュアル [https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/130401/files/2016052500137/file\\_20165253111359\\_1.pdf](https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/130401/files/2016052500137/file_20165253111359_1.pdf) 最終閲覧：2020年7月2日。

(2020.10.2受付)