

地震災害時の医療システム評価のためのシミュレーションモデルに関する考察*

A Study on Development of Simulation Model for Evaluation of Disaster Medical System under Earthquake*

馬場美智子**・能島暢呂***・奥寺敬****・吉田禎雄*****

By Michiko BANBA**・Nobuoto NOJIMA***・Hiroshi OKUDERA****・Sadao YOSHIDA*****

1. はじめに

多数の傷病者が発生する大震災では、傷病者が一部の病院に集中したり、病院への搬送活動における混乱が発生したりすると想定される。このような状況下では、地域内の効果的な救急搬送体制が求められるとともに、広域的な観点から被災地内外の医療機関への搬送も想定した搬送体制を整える必要である。

医療搬送体制は、緊急性を伴うことから、人的・物的資源の有効活用や効果的な情報のやりとりが重要となる。そこで、医療活動と救急搬送活動における人的配置、情報システムの効率性を評価するとともに、医療施設の配置や道路ネットワークのあり方の検討に資することを目的として、災害医療シミュレーションモデルを開発する。

これまで、小池ら¹⁾のリスクに着目した傷病者の搬送活動の評価指標に関する研究や、AMMARIKら²⁾の医療施設利用者の選択行動にもとづく施設配置と利用者の配分問題をとりあげた研究がある。また、石田ら³⁾は、震災時の医療機能の損傷を考慮した医療機関のネットワークをモデル化している。しかし、地震リスクを考慮し、施設配置、交通ネットワークや救急体制を包括的に評価するためのモデル開発は行われていない。

そこで、本シミュレーションモデルは、医療搬送や医療活動の効率性から病院や道路等の施設整備と医療体制を相互的に評価することで、効果的な施設整備の検討に資することを目的とする。また、施設整備面だけでなく、

*キーワード：広域医療搬送、地震リスク、指揮命令系統

**正員、工博、富山大学大学院（協力研究員）

（富山市杉谷2630、
TEL076-434-7785、FAX 076-434-5110）

***正員、工博、岐阜大学工学部社会基盤工学科

（岐阜市柳戸1-1、
TEL058-293-2416、FAX058-293-2416）

****医博、富山大学大学院医学薬学教育部

（富山市杉谷2630、
TEL076-434-7785、FAX 076-434-5110）

*****正員、工博、(株)インテルテック

（東京都新宿区高田馬場2-14-6、
TEL03-3203-9241、FAX03-3203-9246）

災害医療体制の円滑な運用の鍵となる効果的な指揮命令系統の検討を行うため、関連主体への情報系統のパラメータの変更が可能となっている。本稿では、シミュレーションモデルの概要を示す。

2. シミュレーションモデルの概要

(1) システムの構成要素

シミュレーションモデルを構成する5つの要素、①エリア、②傷病者、傷病ランク、③搬送手段、④病院、⑤交通ネットワークについて以下に説明を加える。

a) エリア（対象地域、対象地域外、市内）

対象地域は、被災現場を含むシミュレーションを実施する地域である。対象地域外には、広域医療施設が存在し、搬送される傷病者を受け入れる。市内は、搬送手段となる救急車が所属するエリアを区別するためのもので、一般には市町村行政界が境界となる。

b) 傷病者と傷病ランク

傷病者は表-1に示すような情報を持ち、エリア別・時間帯別・傷病ランク別傷病者数が本システムへの入力値となる。傷病者の発生位置は、与えられたエリア属する道路、または指定されたノードの中からランダムに発生ノードを設定するものとする。

傷病ランクは、搬送順序や病院での処置時間などに影響を及ぼす傷病種別をランク分けしたものである（表-2）。手術が必要な重傷、不要な重傷、中等症などの

表-1 傷病者の情報

静的情報	発生位置（交通ネットワークのノード番号） 傷病者番号・傷病ランク種別
動的情報	発生時刻 現在状況フラッグ（待ち、搬送、処置など） 現在状況別経過時間 搬送されている手段番号 搬送先の病院番号 発生から処置開始までの総時間

表-2 傷病ランク別特性例

傷病ランク	優先順位	入院	猶予時間(分)	平均処置時間	重傷者換算係数	発生確率
手術要重症	1	○	30	60	1.0	変動
手術不要重症	2	○	60	30	0.8	
中等症	3	○	60	180	0.5	

ランクが設定可能で、搬送順序や病院の選択におけるトリアージのための情報となる。

c) 搬送手段

傷病者の搬送手段は、救急車とヘリコプターの2種類を想定する。救急車は、傷病者の収容地点から、病院と道路の状況を考慮し、受け入れ可能病院と使用可能経路を選択して、最短経路で傷病者を選択する。

d) 病院

傷病者の処置をする救急病院であり、傷病ランク別の処置可能性や、ベッド数の制限などを設けることができる。中核的な拠点病院は、高度医療が可能な病院で、ヘリポートを有する場合もある。

e) 交通ネットワーク

交通ネットワークは、道路とダミーを設定する。空路はネットワークではなく、広域搬送拠点となるヘリポートのノードを設定する。道路ネットワークは、2次緊急輸送道路（概ね主要市町村道以上）程度を対象とし、交差点となるノードと交差点間を結ぶリンクによって設定する。道路は被害状況によって閉鎖や交通規制が行われ、災害発生後の混雑による速度の変動も考慮する（図-1）。ダミーネットワークは、災害現場、避難場所などをネットワークに接続するための仮想リンクとして設定する。

また、交通ネットワークは、表-3に示す情報を持つものとする。道路の走行速度については、道路混雑等のイベントが発生した場合は変化する。情報有無フラッグは、道路の利用可否について既知のものか否かを設定するもので、搬送経路の探索時は、既知のリンクのみで形成されるネットワーク上で実施される。

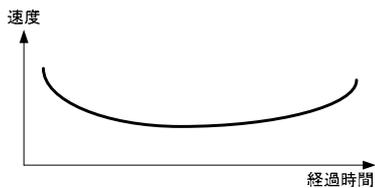


図-1 道路混雑の変動

表-3 交通ネットワークの情報

道路ネットワーク	
静的情報	ノード座標値
	リンク名（番号）・リンク両端のノード名（番号）
	リンク種別（道路、空路、ダミー）
	リンク長
動的情報	輸送速度（初期値）
	一方通行フラッグ
	走行速度
	利用可否（被災有無）フラッグ
	情報有無フラッグ

(2) 評価項目

シミュレーションの結果を評価するための指標は、表-4に示すような傷病者、搬送手段、病院に関する情

報である。搬送に要する時間、待機時間、処置終了までに要する時間やベッドに収容するまでの時間等を、傷病者、搬送手段、病院ごとにみることにより、改善すべき問題を分析する。

表-4 シミュレーションの評価項目

①傷病者に関する情報
・傷病ランク別：搬送傷病者、総搬送時間、病院到着後の総待ち時間、処置完了までの総時間
②搬送手段に関する情報
・搬送手段別：搬送傷病者数、総搬送時間、総待機時間
③病院に関する情報
・病院別・傷病ランク別：傷病者数、総待ち時間、総処置時間、再移送傷病者数

3. シミュレーションモデルの構造と構成要素の挙動

(1) モデルの構造

シミュレーションモデルのフローを図-2に示し、概要を説明する。

災害情報として、地震災害の程度、規模、地点を設定し、災害規模に応じて道路被害、道路混雑状況、病院被害を想定する。また、外的イベントとしては、道路混雑の変動、外部からの救急車と医療関係者の応援状況の変化を想定する。

搬送体制等の指揮命令系統は、被災状況、搬送手段、

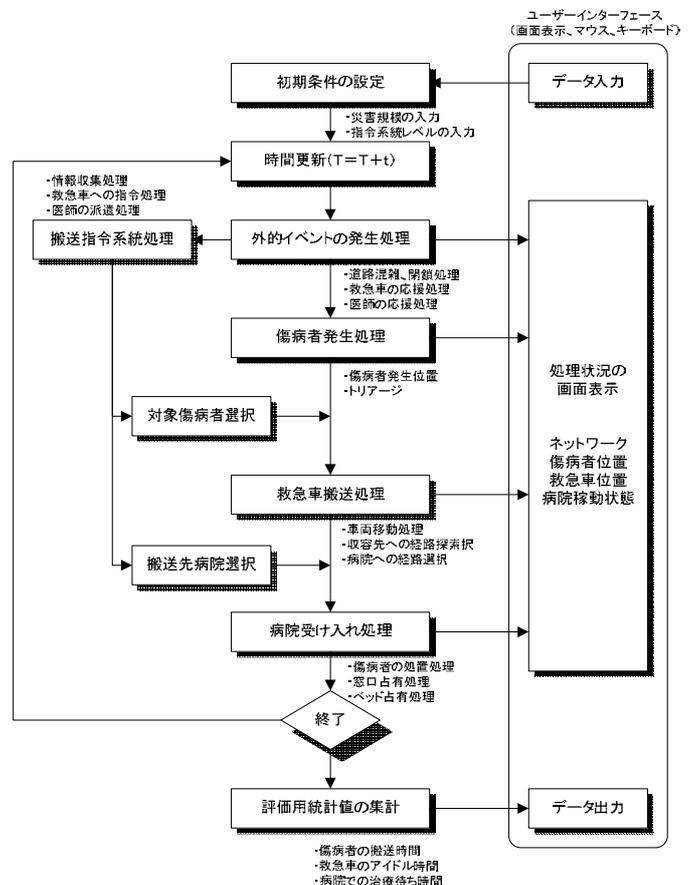


図-2 シミュレーションモデルの構造

病院の状況、外部からの救急車と医療関係者の応援状況等に関する情報の有無によって異なる処理が実施できる。情報の種類としては、交通ネットワーク、搬送手段及び病院の受け入れ状況等である（表－5）。

表－5 指揮命令系統処理における情報の種類

道路情報	経路探索での対応	
あり	リンク別利用可能性、速度低下を考慮	
なし	利用可能性、速度低下を無視	
搬送手段情報	傷病者選択、収容移動	病院選択
あり	他の搬送手段が搬送した場合、次の傷病者を検索	既収容済み搬送手段の到着予定時刻も考慮
なし	予定傷病者の現場に行く	他の搬送手段は考慮せず
病院情報	個別病院情報	病院選択及び処置終了時間
あり	あり	利用可能性、処置終了時間を考慮
	なし	利用可能性の考慮
なし	あり	処置終了時間の考慮
	なし	全て考慮しない

(2) 病院

病院は、一般の救急病院、中核的な拠点病院の2種類を設定し、表－6に示すような情報を持つものとする。ここで特徴的なのは、想定した地震災害リスクが医療施設の被害状況に反映されることや、医療従事者数が治療対応能力に反映されることである。

基本的な挙動としては、傷病者を受け入れ、処置し、ベッドに収容するか、または必要に応じて他の病院に転送する。それぞれの挙動のフローを図－3、4に示す。

表－6 病院の情報

静的情報	位置（交通ネットワークのノード番号） 病院名（番号） 病院種別（一般、中核） 傷病ランク別利用可否（被災有無）フラッグ
動的情報	医師数 ベッド数及び未使用ベッド数 透析施設数及び未使用透析施設数 医師別処置終了予定時刻 透析装置別処置終了予定時刻 処置待ち傷病者数 処置待ち傷病者番号（複数） 処置終了予定時刻（待ち時間を含む） 傷病ランク別処置済み傷病者数 傷病ランク別処置時間合計 傷病ランク別待ち時間合計 傷病ランク別再移送傷病者数（含入院患者移送） 情報有無フラッグ

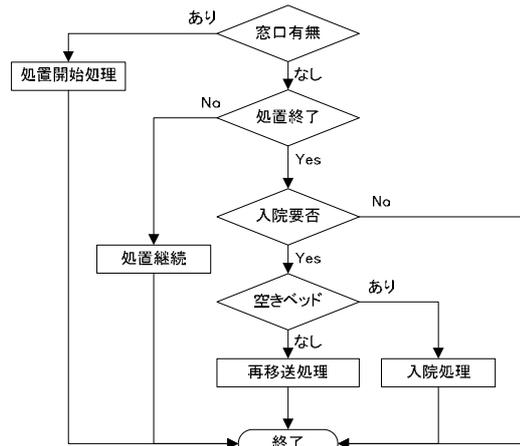
a) 窓口受け入れ処理

受け入れの窓口は、医師数と同数とする。当該病院で処置可能な場合、傷病ランク別待ち行列に追加し、同時到着の場合は、傷病ランクの高いものを優先して待ち行列に加える。待ち行列に追加した場合、処置終了予定時刻を平均処置時間より算定する。

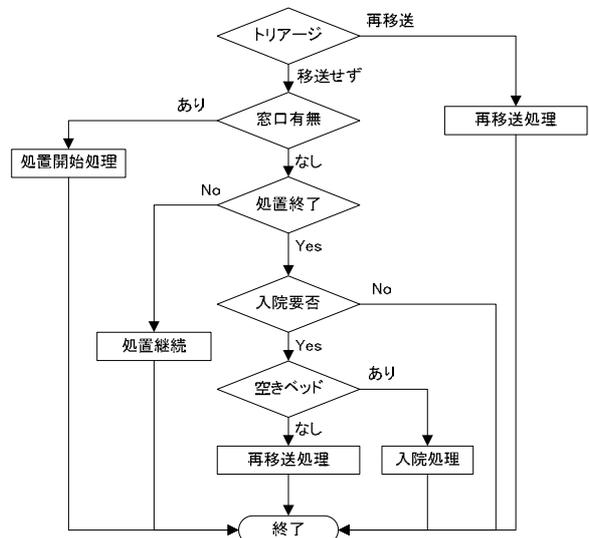
b) 傷病者の処置

傷病者の処置は、既に到着している傷病者の中でトリアージを行い、傷病者ランク別の高い順に処置可能な医師が行う。処置を開始する場合、処置時間を算定し、

終了予定時間の更新を行う。



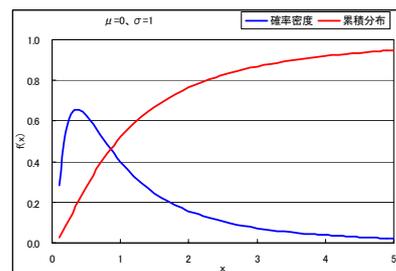
図－3 一般救急病院の挙動フロー



図－4 中核拠点病院の挙動フロー

平均処置時間は、式(1)、図－5に示す対数正規分布の確率密度関数に従ってランダム化することを可能とする。処置終了後は、傷病ランク別に入院・帰宅の判定を行い、入院患者については、ベッドの占有処理を行う。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha}} \exp\left\{-\frac{(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (x > 0) \quad (1)$$



図－5 対数正規分布の確率密度関数

(3) 救急車

救急車は、表-7に示すような情報を持ち、傷病者発生と共に傷病者の収容に向かい、現場で傷病者を収容して病院または広域搬送のためにヘリポートへ搬送する。所要時間最短の経路上を移動する。また、出動後、指定時間経過後は、基地に帰庁する。挙動フローを図-6に示す。

表-7 救急車の情報

静的情報	搬送手段番号 搬送種別(救急車、ヘリコプターの別) 搬送可能傷病者数(重傷者換算値) 所属エリア番号、所属基地番号
動的情報	現在状況フラッグ(待機、収容移動、搬送移動、帰庁など) 情報有無フラッグ 搬送傷病者数及び搬送傷病者番号(複数あり) 搬送経路情報(ノード番号の列挙) 目的地ノード番号(基地、現場、病院) 搬送先病院番号 目的地到着予定時間 現在位置のリンク番号 搬送済み傷病者別総傷病者数 状況別総時間(収容、搬送、帰庁、待機など)

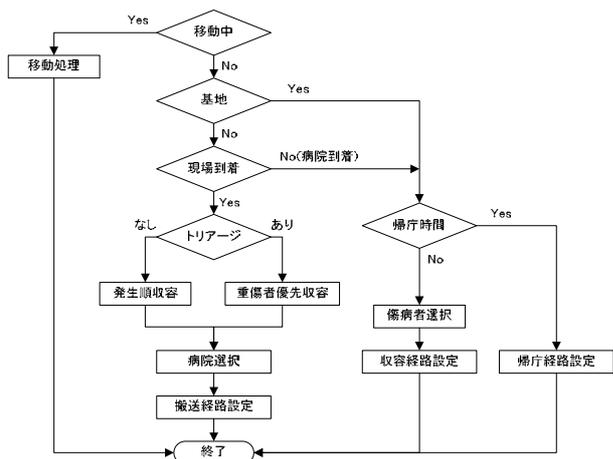


図-6 救急車の挙動フロー

a) 車両移動処理

救急車の移動は、シミュレーション単位時間毎の交通ネットワーク上の位置を算定することで表現する。災害現場、病院または基地に到着するまでは移動処理のみ実施する。

外的イベントによる混雑で速度が低下した場合は、そのまま予定経路上を移動するものとする。ただし、到着予定時間を修正する。また、移動開始時に選定した経路に沿って新たなリンクに進入した場合、当該道路が利用できない場合は、再度経路探索を実施して新たな経路を選定する。

b) 傷病者収容処理

救急車は基本的には、管轄エリア内で発生した傷病者を発生順に収容する。収容対象の傷病者ま

での経路は時間最短経路を探索して決定する。経路探索では、道路情報のない場合は全道路、道路情報のある場合は「利用可能」な道路のみを用いて経路を探す。現場でトリアージする場合は、猶予時間のない傷病者、傷病ランクの高い傷病者、発生時刻の早い傷病者の順に選択して収容する。また、収容可能数に達するまでできるだけ多くを収容する。

c) 病院搬送処理

搬送先の病院の選択においては、指揮命令系統からの指示により、管轄エリア外であっても搬送傷病者の処置が可能な病院の中で、最も所要時間が短い病院を選定する。広域搬送が必要な場合は指定のヘリポートへの搬送が指示される。

所要時間は、搬送時間(救急搬送時間) + 待ち時間とする。ただし、搬送先病院の情報がない場合には、待ち時間は考慮しない。その際、救急車相互での搬送状況が把握されている場合は、待ち時間として既に搬送中の救急車の傷病者の待ち時間も考慮した時間を算定する。病院の情報が利用できないケースで、到着した病院が被災して利用不可の場合は、病院到着後に再度病院の選定と経路探索を実施する。

3. おわりに

本稿では、災害医療システム評価のためのシミュレーションモデルの概要を示した。本シミュレーションは、医療施設や交通ネットワーク等の施設整備と搬送体制を相互的に検討するとともに災害リスクを考慮することにより、災害医療体制の包括的な検討を可能とするものである。今後は本モデルを活用してケーススタディとして静岡市を対象として適用計算を行い、実証的に検証する。

参考文献

- 1) 小池則満・秀島栄三・山本幸司・深井俊英：災害時における負傷者搬送活動の評価指標に関する基礎的考察，土木学会論文集IV巻，Vol. 709，IV-56，pp. 71-79，2002
- 2) Fauzy AMMARIK・Keiichi OGAWA・Toshihiko MIYAGI：医療施設配置に関する空間相互作用モデルの構築，土木計画学研究・論文集，Vol. 17，pp. 219-228，2000
- 3) 石田勝彦・大島靖樹：都市の社会機能損傷評価に基づいた地震災害に対する次世代リスクマネージメントー震災時の救急医療機能損傷評価と医療機関ネットワーク，日本地震工学シンポジウム論文集，Vol. 11，pp. 2191-2196，2002