

## 待ち行列を用いた災害時シミュレーションの一考察

静岡理工科大学  
01607140 静岡理工科大学  
宮城大学, 東京医科大学  
工学院大学

\*大場春佳 OHBA Haruka  
水野信也 MIZUNO Shinya  
藤澤由和 FUJISAWA Yoshikazu  
笥淳夫 KAKEHI Atsuo

### 1. はじめに

少子高齢化社会の中、今後さらに高齢者人口が増えることが確実な現在、医療サービスはさらに重要な事案となっている。そのような中で行政では、地域医療構想 [1] を策定した。この取り組みの中で、2025年に向けた医療提供体制の改革として、患者の状態に応じた適切な医療を、地域において効果的かつ効率的に提供する体制を整備し、患者ができるだけ早く社会に復帰し、地域で継続して生活を送れるようにすることを目指している。この地域医療構想は2次医療圏が単位とされており、今後は2次医療圏での自立した医療サービスが求められる。しかし2次医療圏には地域間格差があるのが実情である。現在の2次医療圏の実情を捉え、限られた医療資源の中で効率的な2次医療圏を維持するためには、実情を把握し、効率化を促す指標が必要である。

本研究では災害時における2次医療圏の医療提供能力を算出する一つとして、救急搬送と医療キャパシティに注目する。災害時は、24時間緊急対応し被災地内の傷病者等の受入れ及び搬出可能な災害拠点病院を中心として、傷病者の受入れが行われる。しかしながら搬送には道路状況が影響し、また被災により医療提供が可能な病院も限られてくることから、通常時に比べて医療提供能力が低下する。そのため、災害時における医療提供能力をシミュレーションすることは、重要なことであると考えられる。今回は2次医療圏の一つである、中東遠を対象に解析を行った。シミュレーションのため、まず最初に2次医療圏の総人口、年代別人口、消防署数、消防署種別、病院数、医師数や地理情報をオープンデータを用いてデータベース化を行う。それを利用し、患者から救急搬送の要求があった場合に、消防署から救急車両が患者発生地点に向かい、病院へ搬送される。その後救急車両は消防署に戻ることで、ここまでを患者一人に対す

るサービス時間とする。このプロセスを  $M/G/s$  待ち行列理論を用いて解析する。また災害時には、病院間連携も重要となる。特に、患者の受け入れ量を分散させることに注目して、患者流量を閉鎖型待ち行列ネットワークを用いて分析する。

### 2. 2次医療圏情報の整備

2次医療圏の一つである中東遠を対象に解析を実施するために、2次医療圏情報のデータベース化を最初に行った。今回利用したデータは表1のようになる。

表 1: 利用データ一覧

データ名	出典	内容
国土数値情報 医療圏データ	国土交通省国土 政策局	2次医療圏情報、 人口、65歳以上 人口率
統計でみる市 区町村のすが た 2016	総務省統計局	病院数、医師数

都道府県と市町村については、総務省 都道府県コード及び市区町村コードを利用し、2次医療圏については、上記国土数値情報 医療圏データを利用している。桁数に満たない場合は0を付加して桁数を合わせている。これらを利用すると、2次医療圏ごとに必要な情報が得られる。

また図1は静岡県中東遠2次医療圏を対象とした場合に得られる情報である。これから静岡県(都道府県コード22)には8の2次医療圏があり、その中の中東遠(2次医療圏コード2207)は6の市町村で構成されている。例として袋井市(市町村コード22216)では、全人口84,846人、65歳以上人口16,169人、病院数2、医師数90人といった情報が得られる。

### 3. 救急搬送シミュレーション

災害時には高速道路や国道一号線などの幹線道路は高規格幹線道路として、救急・救命活動や支援

都道府県テーブル	2次医療圏テーブル	市町村テーブル
01 北海道		22211 磐田市
22 静岡県	2201 賀茂	22216 袋井市
	2207 中東遠	・全人口 : 84,846
	2208 西部	・65歳以上人口 : 16,16
		・病院数 : 2
		・医師数 : 90
47 沖縄県		22461 森町

図 1: 利用データ例

物資の輸送、復旧・復興活動を迅速に行うため、使用用途が制限される。そこで今回は、患者発生地点より高規格幹線道路等の緊急輸送路は救急車のみ、一般車両は緊急輸送路以外を用いて病院まで搬送すると仮定したシミュレーションを行う。道路情報に関しては、静岡県が公開している静岡県緊急輸送路図より取得し、Google APIを用いて距離を取得した。

救急搬送シミュレーションは、 $M/G/s$  待ち行列理論を用いて分析する。患者は率  $\lambda$  のポアソン過程に従って各地域の町丁目中心から発生すると仮定する。患者発生率は医療圏の特徴を活かすために対象医療圏の総人口と65歳以上人口率を用いて設定する。サーバ数はその消防署の救急車両数とする。これらからサーバ数を変動させた際の平均系内時間を医療サービス時間とみなし、災害時に必要な救急車の数を明らかにする。

#### 4. 医療機関同士のキャパシティシミュレーション

現在、医療機関は専門性や地域間など様々な部分で連携をし、医療サービスの提供を保っている。しかし地震などの災害時には、医療機関として機能しない施設もあり、通常時の医療サービスのバランスが崩れてしまう。また復旧が進むにつれ、各医療機関もサービス提供が復旧し、通常時の状態に戻っていく。そこで病院の利用度数を系内の客として捉え、閉鎖型待ち行列ネットワークでモデル化する。今回は限られた地域の病院の均衡を表現する為に系内の移動だけを考える閉鎖型待ち行列ネットワークを用いてモデル化する。

今回提案するシステムフローは図2のようになる。このシステムでは最初に拠点を選択する。そしてその拠点人口や拠点間距離情報から、重力モデルを用いて推移確率を決定する。そして待ち行

列ネットワークで各拠点の平均待ち人数を算出する。この平均待ち人数がその病院が必要とされている量と考える。

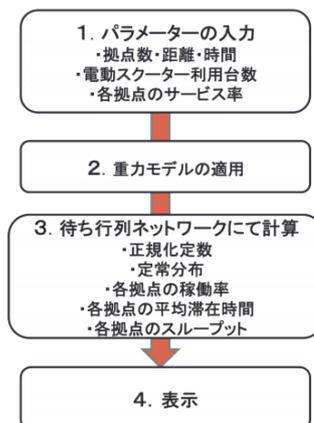


図 2: 本モデルフロー

#### 5. おわりに

今回、表1のオープンデータを用いて、中東遠を対象とした救急搬送シミュレーションと医療機関同士のキャパシティシミュレーションを提案した。病院の価値は医師数だけでなく、看護師数、病床数、医療サービスの質など様々な観点から評価しなければならない。また救急搬送シミュレーションにおいても、自動車の移動速度や通行可能道路を変化させた評価をする必要がある。今後は、パラメータ数を増やすことでより現実的で、質のよいシミュレーションに取り組んでいく。

#### 謝辞

本研究は、科研費基盤C「医療機関ネットワークのシミュレーションによる地域単位での対応計画の構築研究」＜研究代表者・笈淳夫＞における研究成果の一部を取りまとめたものである。

#### 参考文献

- [1] 厚生労働省: 地域医療構想,  
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000080850.html>,  
2019/07/02
- [2] 静岡県: 静岡県緊急輸送路図(平成28年6月)  
<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-210/documents/kinnkyuuyusou28.pdf>,  
2019/07/05