

救急医療シミュレーションプラットフォームの構築

○亀井雄貴 市川学 (芝浦工業大学)

Building of Emergency Medical Simulation Platform

*Y. Kamei and M. Ichikawa (Shibaura Institute of Technology)

概要— 救急医療では、高齢化により急病者の需要が増加に伴い、救急搬送困難事案が発生している。持続的に質の高い救急医療提供体制を維持するには、現行体制の改善だけでなく、人口動態の変化に伴う救急医療需要の変化を見据え、体制整備や施策立案を行う必要がある。本研究では、救急搬送困難事案に対して、患者や政策的観点から救急医療体制の評価・分析を行うことを目的に、救急患者の発生から退院までの一連のプロセスを表現可能なシミュレーションモデルを構築する。

キーワード: 救急医療体制, 救急搬送困難事案, Agent Based Modeling, 救急搬送モデル

1 背景

救急医療では、高齢化により、救急出動件数及び搬送人員が増加傾向で推移している。救急自動車によって救急搬送された患者の約65%が急病者であり、年齢区分別事故種別搬送人員でみた場合、約62%が高齢者であると報告されている¹⁾。また、救急自動車による救急搬送全体で、病院収容所要時間は平均40.6分と2020年と比べて増加している¹⁾。更に、救急搬送時の医療機関への照会回数が4回以上の事案及び、現場滞在時間30分以上の事案の双方が、全ての救急医療事案で増加している¹⁾。これらの救急搬送困難事案に対して、一人でも多くの命を救うためにも、体制の早急な改善が必要である。

一方で、現行体制の改善だけでなく、将来の人口動態の変化に伴う救急医療需要の変化を見据え、持続的に質の高い救急搬送・受け入れ医療体制を実現するための整備や施策立案を行う必要がある。

2 先行研究

市川ら(2014)の研究²⁾では、エージェントベースモデルを用いて、夜間救急医療における患者の発生から診療の終了までの一連のプロセスを表現可能なモデルを構築している。このモデルでは、患者の受療行動と医療サービスを反映したモデルを構築して、輪番制の有効性と搬送時間の短縮という視点から評価を行っている。しかし、患者が同時に複数発生しない点や、複数の地域で検証を行っていない点などから、現実社会への適用の有用性を示すには不十分であることを指摘している。不動ら(2016)の研究³⁾では、市川らが構築したモデルを再構築し、患者の同時発生や仮想の二次医療圏を想定した複数地域での検証を行い、モデルを現実社会へ適用する有用性を示している。しかし、搬送時間の算出を患者と病院間の直線距離で行っている点や、救急医療を要請してから医療機関へ収容されるまでの時間が考慮されていない点などが課題として挙げられている。

3 目的

本研究では、救急搬送困難事案に対して、救急医療体制を評価、分析することを目的として、救急患者の発生から退院までの一連のプロセスを表現可能なシミュレーションプラットフォームを構築する。

4 方法論

本研究では、社会シミュレーション・ライブラリであるSOARS Toolkit⁴⁾と、大規模世帯合成データ⁵⁾を用いて、救急医療における患者の発生から退院までの一連のプロセスを表現したモデル(Fig.1参照)を構築する。図中の黒文字は各フェーズでの問題や課題を表しており、赤文字はモデルにより評価・分析可能にすることを示している。

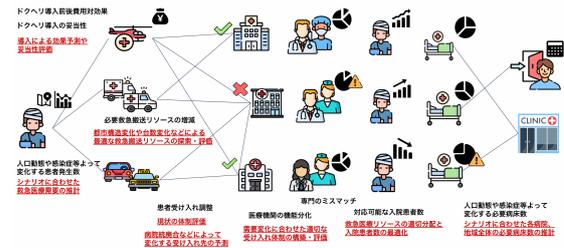


Fig. 1: プラットフォーム構想図

4.1 モデルの概要

構築するモデルは、評価対象の項目に合わせて、平均救急搬送時間や平均照会回数などを出力することで、患者の観点や政策的観点などから評価を行うことを可能にする。更に、人口構成の変化に伴う救急医療需要の変化や、病院の統廃合などのシナリオを分析し、地域に適し、将来性を加味した適切な救急医療体制を検討することを可能にする。本シミュレータは、市川研究室の持つ仮想日本シミュレータD2Jと、大規模世帯合成データである模擬個票を基盤として、それらの上で動くモデル群によって構築する(Fig.4参照)。モデル群は、患者発生モデル、入退院・転院モデル、救急搬送モデル、自力受診モデルの主に4つある。これらのモデルによって構築されるシミュレーション環境を用いて、様々なシナリオ分析を行っていく。

4.2 使用データの種類

本研究で使用するデータとその使用方法について説明する。

4.2.1 性・年齢別の患者発生確率

傷病別の性・年齢別患者発生確率は、性・5歳階級別の傷病別発症人数を傷病別の発症総数で除算したものとす。本研究における患者の傷病分類には、世界保健機関

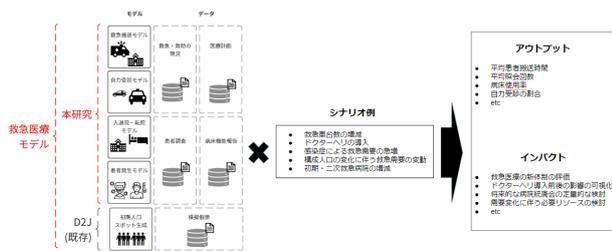


Fig. 2: モデルのシステム図

(WHO)の作成した分類である「疾病及び関連保健問題の国際統計分類:International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (以下「ICD-10」と略)」を基に厚生労働省が分類表として形式を統一した傷病大分類を用いる。また、本研究では「令和2年患者調査 確定数 全国編 第3表」に記載されている傷病大分類ごとの総患者数から、性・5歳年齢階級ごとの患者数を除算し、傷病別の性・年齢階級別の患者発生確率を算出している。

$$\begin{aligned} & \text{傷病別の性・年齢別患者発生確率} \\ &= \frac{\text{傷病別の性・5歳階級の患者数}}{\text{傷病別の総患者数}} \end{aligned}$$

4.2.2 患者の重症確率

患者の重症確率は、傷病別の総患者数を傷病別の重症患者数で除算したものである。ここでの総患者数は、重症患者と軽症患者を和算したものであり、「令和2年患者調査 確定数 全国編 第30表」に記載されている「新入院」を重症患者、「外来」を軽症患者と位置づけて算出している。

$$\text{傷病別の患者の重症確率} = \frac{\text{新入院総数}}{\text{新入院・外来総数}}$$

4.2.3 救急搬送事案の発生確率

救急搬送の発生確率は、患者が傷病を発症した時に救急搬送・自力受診の受診行動の選択確率であり、救急の患者総数を救急車による搬送患者総数で除算したものである。ここでの救急搬送確率は、「令和2年患者調査 確定数 全国編 第30表」に記載されている各傷病ごとの「救急の受診」の総数を傷病大分類別の救急の総患者数として、「救急車により搬送」の総数を救急車による搬送総数と位置づけて算出している。

$$\begin{aligned} & \text{救急搬送事案の発生確率} \\ &= \frac{\text{傷病大分類別の救急車による搬送患者総数}}{\text{傷病大分類別の救急の患者総数}} \end{aligned}$$

4.2.4 昼夜間1分あたりの救急患者発生確率

昼夜間1分あたりの救急患者発生確率は、傷病別の診療時間内(外)の救急患者総数と日本の全人口との除算値としている。ここでの昼夜間の救急患者数は、「令和2年患者調査 確定数 全国編 第30表」に記載されている「診療時間内の受診」を昼間救急受診、「診療時間外の受診」を夜間救急受診と位置づけ、傷病別に昼夜間それぞれの患者数を算出した。また、「令和2年国勢

調査 人口等基本集計 第2-3表」から日本の全人口を求めた。

昼(夜)間1分あたりの救急患者発生確率

$$= \frac{\text{傷病別診療時間内(外)の救急患者総数}}{\text{全人口}}$$

4.2.5 本モデルにおける傷病別救急患者発生確率

先述したデータの使用例を以下に示す。以下の式は、昼間において39歳男が循環器系の傷病を発症して重症である場合に救急車両による救急搬送によって特定の医療機関を受診する確率である。

昼間に39歳男が循環器系の傷病を患い

重症の場合に救急搬送を要請する確率

= 昼夜間1分あたりの救急患者発生確率

×

傷病別の性・年齢別患者発生確率

×

傷病別の患者の重症確率

×

傷病別の救急搬送事案の発生確率

4.3 モデルの詳細

本研究において構築したモデルの詳細について説明する。

4.3.1 対象地域

本モデルの対象地域は、神奈川県逗子市を対象とする。逗子市は1つの消防本部と3つの消防署を持つ。各消防署は1台の救急車両を保有している。

4.3.2 医療機関

医療機関は、施設名、対応診療科目、病床数、緯度・経度の情報を持つ。これらの情報は、各都道府県の医療計画から取得した一次・二次・三次の救急告示病院と救命センターの情報と、国土交通省の提供する「国土数値情報」が公開する救急告示病院のから取得した対応診療科目と緯度・経度の情報を用いている。本研究で用いる診療科目(Table.1参照)は、市川らが実際に医療機関に設置される診療科を、その機能と特性に基づいて11の診療科目に分類したものをを用いる²⁾。全ての医療機関は、救急車両の行う患者の受け入れ調整先の対象となるが、この調整の際に重症患者を対応している場医療機関は、新規の重症患者の受け入れを拒否する。なお、本モデルにおける患者の治療は、軽症の場合は30分、重症の場合は1時間と仮定している。これらの値はモデルの挙動を評価するために暫定的に設定している値であり、今後の改良によって柔軟に変更が可能である。なお、モデル内における患者の傷病分類と医療機関の対応診療科目の対応には、「平成11年患者調査 推計患者数、診療科・入院-外来×傷病分類×病院-一般診療所別」のデータを基に作成されたデータセット⁶⁾を用いた。このデータセットは、傷病別に各診療科の受診割合を算出したものである。例を挙げると、「I感染症及び寄生虫症」の患者を100%だと

Table 1: 医療機関の対応診療科目

本研究における診療科	現実における診療科
その他内科系	内科
外科系	外科, 整形外科, 形成外科, 救急科
小児系	小児科
泌尿器系	泌尿器科
感覚器系	耳鼻咽喉科, 眼科
精神系	精神科
呼吸器系	呼吸器科
消化器系	消化器科
神経系	神経内科
循環器系	循環器科, 心臓血管外科
脳神経系	脳神経外科

した場合に、患者が内科を受診する確率が46%、呼吸器科を受診する人が23%といったように各傷病の患者が、どの診療科を受診しているかを表している。2にこのデータセットの一部を示す。

Table 2: 傷病分類と診療科の対応

傷病分類	診療科	入院割合	外来割合
I 感染症及び寄生虫症	内科	0.463	0.45
	呼吸器科	0.236	0.042
	消化器科	0.058	0.103

【医療機関の市場調査】傷病別の診療科受診割合⁶⁾より引用し一部改変

4.3.3 消防本部・消防署

本モデルにおいて、消防署は患者からの緊急通報を受け、後述する各消防署に所属する救急車両エージェントに出動を要請する。消防署に救急車両が存在しない場合は、圏外の消防署の救急車両に応援要請を行う、また、消防署は救急車両を保有する。

4.3.4 住民エージェント

人間エージェントはそれぞれ性別と年齢を持ち、市内の町丁目・字に生成され、世帯を構成する。人間エージェントは、先述した性・年齢別の発症確率に基づいて患者へと変化し、傷病大分類に基づく傷病と重症確率に基づいた傷病程度を保持する。患者となった人間エージェントは、救急搬送の発生確率に基づいて救急搬送か自力受診の意思決定を行う。このうち、救急搬送を希望する患者は、消防本部に性別、年齢、傷病分類、現在地を緊急通報をし、現在地で救急車両エージェントが到着するのを待つ。なお、自力受診をする場合の患者の移動速度は30km/hとしている。

4.3.5 救急車両エージェント

救急車両エージェントは各消防署に所属するように生成される。救急車両エージェントは、患者となった人間エージェントが救急搬送を希望した場合に消防本部の指示に従って、患者の元へ急行し医療機関へ搬送する。医療機関へ搬送する際、患者の持つ傷病分類の情報と、医療機関の持つ対応診療科目の情報から搬送する医療機関を決定する、この際、現在地から医療機関までの距離が最短である医療機関から照会を行う、対応する診療科目を持つ医療機関や、受け入れ可能な医療機関が存在しない場合は圏外の医療機関に搬送する。この圏外の医療機関は如何なる場合においても患者の受け入れを行うこととする。なお、本モデルにおいては照会にかかる時間は一律で10分と仮定して計算を行っている。シミュレーション内の移動時間は、医療機関、消防署・住民の現在地が持つ緯度・経度より、esri ジャ

パンの提供するGISプラットフォーム「ArcGIS」内のODコストマトリックスによって算出した道路距離を。一律60km/hとした救急車両の移動速度で除算した値を使用する。また、患者を救急車両内のストレッチャーに搬送する際にかかる時間を5分と仮定する。

4.3.6 圏外搬送

本モデルにおいて圏外搬送事案が発生するのは、傷病に対する対応診療科目を持つ医療機関が無い場合と、市内の救急車両が出払ってしまっている場合の2通りである。市内の救急車両の台数を超過して救急搬送需要が発生した場合、消防本部は圏外から応援の救急車両を要請する。患者を圏外の医療機関に搬送するまでにかかる時間は一律で30分としている。

5 モデルの適用

現在、先述したモデルにおいて (Fig.1 参照)、患者の発生から患者が入院するまでの救急搬送の部分について構築が完了している。本稿ではこの救急搬送モデルを用いてシミュレーションを行った。ここでは、シミュレーションを行う際にモデルに適用した設定・シナリオについて説明する。

5.1 シミュレーション設定

本シミュレーションでは、1ステップを1分とし、シミュレーション期間を30日間とした。また、1日のうち夜20時から朝5時までを夜間救急と位置づけ、それ以外の時間帯を昼間救急と位置づけている。Table.3に詳細なデータを示す。

Table 3: シミュレーションにおける初期設定

初期設定	
総人口	54529
世帯数	23329
建物生成	19839
初期救急医療機関	45
二次救急医療機関	183
三次救急医療機関	21
消防署数	3
救急車両数	3

5.2 シナリオ設定

本シミュレーションでは、ケーススタディとして、逗子市の救急車両の台数を増減させた際の、圏外の救急車両の応援要請数の変動度合いを分析することで、逗子市に新たな救急車両を導入した場合の効果検証を行う。本稿では、救急車両の台数を現行体制の3台とした場合と、1台増やした4台とした場合の二通りについてシミュレーションを行い、結果の比較検証を行う。

6 現状の進捗

現状では、各種データを用いた患者発生・救急搬送アルゴリズムの構築、模擬個票を用いた人口・建物生成など、モデルの基盤については実装が完了している。以下にシミュレーションを実際に行った際の結果の一部を示す。

これらの結果は、逗子市を対象として、現状の逗子市が持つ救急医療能力を再現し、シミュレーション時間を1ヶ月とした際の結果のうち、傷病程度を問わず、救急搬送された患者について出力したものである。現

1	Time	Agent	DISEASE	HOSPITAL
2	0/05:55	i11509	XXI健康状態に影響を及ぼす要因及び保健サ	圏外の病院
3	0/08:07	i36101	IX循環器系の疾患	医療法人沖繩徳洲会葉山ハ一
4	0/09:20	i6375	IX循環器系の疾患	圏外の病院
5	0/17:58	i44905	IX循環器系の疾患	圏外の病院
6	0/20:46	i20240	XXI健康状態に影響を及ぼす要因及び保健サ	圏外の病院
7	0/21:15	i5164	IX循環器系の疾患	医療法人沖繩徳洲会葉山ハ一
8	0/21:57	i20847	IX循環器系の疾患	圏外の病院
9	0/23:27	i26353	IX循環器系の疾患	一般財団法人鎌倉病院
10	1/05:10	i12871	XXI健康状態に影響を及ぼす要因及び保健サ	圏外の病院
11	1/20:47	i40322	XXI健康状態に影響を及ぼす要因及び保健サ	医療法人沖繩徳洲会葉山ハ一
12	2/01:10	i13437	XXI健康状態に影響を及ぼす要因及び保健サ	圏外の病院
13	2/01:24	i16087	XXI健康状態に影響を及ぼす要因及び保健サ	圏外の病院
14	2/04:01	i32829	XXI健康状態に影響を及ぼす要因及び保健サ	圏外の病院
15	2/23:34	i16051	XXI健康状態に影響を及ぼす要因及び保健サ	圏外の病院
16	3/01:45	i54194	XXI健康状態に影響を及ぼす要因及び保健サ	圏外の病院

Fig. 3: 患者と搬送先の医療機関

Time	Agent	AgeRange	Sex	Disease	SickLevel	reported	activehole
0/02:21	i19905	20-29	1	IX循環器系に影響を及ぼす要因及び保健サービス	0	false	potential
0/05:35	i11509	70-74	1	XXI健康状態に影響を及ぼす要因及び保健サービス	0	true	potential
0/07:34	i26646	55-59	0	XIII呼吸器及び結合組織の疾患	0	false	potential
0/07:42	i58967	5-9	0	VIII及びXII呼吸器の疾患	0	false	potential
0/08:07	i34981	60-69	0	IX循環器系の疾患	0	true	potential
0/08:32	i28779	70-74	1	IV内分泌、栄養及び代謝疾患	0	false	potential
0/09:00	i47392	25-29	1	XI消化器系の疾患	0	false	potential
0/09:01	i0375	90歳以上	1	IX循環器系の疾患	0	true	potential
0/12:14	i129	20-29	1	V感染及び免疫学疾患	0	false	potential
0/17:39	i44905	0-4	1	IX循環器系の疾患	0	true	potential
0/17:46	i18795	80-84	1	IX循環器系の疾患	0	false	potential
0/19:06	i4826	80-89	1	IX循環器系の疾患	0	false	potential
0/20:14	i20240	0-4	1	XXI健康状態に影響を及ぼす要因及び保健サービス	0	true	potential
0/20:43	i5164	80-84	0	IX循環器系の疾患	0	true	potential
0/21:25	i20847	80-84	0	IX循環器系の疾患	0	true	potential
0/22:55	i26353	70-79	1	IX循環器系の疾患	0	true	potential
0/23:22	i32446	40-44	1	IX循環器系、栄養及びその他の内因性の影響	0	false	potential
1/00:09	i42895	5-9	1	XI消化器系の疾患	0	false	potential
1/01:32	i5164	20-29	0	XI消化器系の疾患	0	false	potential

Fig. 4: 性・年齢別の患者が発症した傷病分類

状のモデルでは、患者が発症した際に運び込まれる医療機関や、患者が発症する傷病分類に偏りが見られることから、アルゴリズムに改善の余地があると言える。

7 今後の展望

今後は、可視化方法の検討、病院輪番制の実装、道路距離を用いた距離計算、ストレッチャーへの搬送などの実際の現場活動時間の反映、救急搬送要請の断り率を加味した実装などを行い、より実態に沿ったモデルを構築できるよう改良を進めていく予定である。

参考文献

- 令和3年版 消防白書
https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/r3/items/part2_section5.pdf (最終閲覧：2022/06/11)
- 市川 学, 春日 雄翔, 出口弘, 金谷 泰宏. 二次医療圏における夜間救急医療モデルの構築とその利用, 27 巻 7 号 p. 259-267, 2014
- 不動 翔太郎, 市川 学, 中井 豊. エージェントベースモデルによる夜間二次救急体制の検討, 保健医療科学, Vol.65 No.1 p.78 - 89, 2016
- 小野 功, 市川 学, 出口 弘. 大規模エージェントベースシミュレーションのための SOARS Toolkit の提案. SSI2020 予稿集. 2020-11-15/17. 計測自動制御学会.GS6-4-5, 2020
- 原田拓弥, 村田忠彦, 出生コホートを考慮した日本全国の仮想個票の合成, 計測自動制御学会第 18 回社会システム部会研究会資料, 6 pages, 2019
- 【医療機関の市場調査】傷病別の診療科受診割合
<https://note.com/iryokaigodb/n/nb71aaf96f7f1> (最終閲覧：2022/12/12)