

<原著>

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

不動翔太郎¹⁾, 市川学²⁾, 中井豊¹⁾¹⁾ 芝浦工業大学²⁾ 国立保健医療科学院健康危機管理研究部

Study on night-time secondary emergency system using agent based model

Shotaro FUDO¹⁾, Manabu ICHIKAWA²⁾, Yutaka NAKAI¹⁾¹⁾ Shibaura Institute of Technology²⁾ Department of Health Crisis Management, National Institute of Public Health

抄録

目的：夜間二次救急を対象として患者が発生してから病院に收容されるまでの流れをモデル化し，現行制度である病院群輪番制の導入ケースと導入しないケースで，救急患者の搬送時間と医療機関への搬送患者数にどのような影響があるのかを，シナリオ分析から判断する。

方法：Agent Based Modelingのアプローチでモデルを構築する。複数地域での検証を行い，複数のシナリオで輪番制度の評価を行うことで，モデルを現実社会へ適用する有用性を示す。

結果：(1) 地方都市を想定した地域では，輪番制度を導入していない場合，輪番制度を導入している場合ともに地域医療の主軸となっている医療機関へ搬送されている人数が多かった。また，当直させている医師の数が少ないにもかかわらず，人口の多い地域に立地していることで搬送受入れ人数が多い医療機関では，輪番制度を導入することで負担を軽減することができた。(2) 大都市を想定した地域では，輪番制度を導入していない場合，当直させている医師の数が多いた医療機関へ搬送されている人数が多いことが確認できた。また，輪番制度を導入している場合，医師の数が少ないにもかかわらず患者の人数が多かった医療機関の負担を軽減することができた。(3) 過疎地域を想定した地域では，輪番制度を導入していない場合との輪番制度を導入している場合ともに，地域の医療機関にまんべんなく均等に救急患者が搬送されていた。結果(1)，(2)に比べ，特定の医療機関に負担がかかっていないにもかかわらず，輪番制度を導入することで平均搬送時間だけが長くなった。(4) 過疎地域に適用した改善シナリオでは，輪番制度を導入していない場合との輪番制度を導入している場合ともに，地域の医療機関にまんべんなく均等に救急患者が搬送されている。しかし，改善前の結果と比べ圏外へと搬送される救急患者が比較的減少した。

結語：本研究では，モデルの実社会への有用性を示した。今後，モデルの妥当性を高めていくことも重要であり，モデルの妥当性を評価するには，公開されているデータだけでは難しく，地域医療に従事した専門家の協力が必須であると考えられる。

キーワード：Agent Based Modeling, 救急医療体制, 夜間救急医療モデル

Abstract**Objective:**

We modeled the flow from patients occur until hospitalized for evaluating the nighttime secondary emergency system using an agent based approach. Additionally, from scenario analysis, we analyzed that

連絡先：市川学

〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6

2-3-6, Minami, Wako, Saitama, 351-0197, Japan.

Tel: 048-458-6235

E-mail: ichikawa@niph.ne.jp

[平成28年1月29日受理]

how nighttime hospital scheduling influence on the transport time of emergency patients and the number of patients transported to medical institutions.

Methods:

We developed a model using Agent Based Modeling and validated it adopting the nighttime rotation system in multiple scenarios, to demonstrate the utility of the model in the real world.

Results:

(1) In areas that assumes the rural area, the number of emergency patients transported to the main hospital in this area were large whether the nighttime rotation system is used or not. Additionally, hospitals which are located in the populous region can be reduced the burden by adopting the nighttime rotation system though the number of doctors who are on night duty is not so big.

(2) In areas that assumes the urban area, the number of emergency patients transported to hospitals which have a large number of doctors who are on night duty is large if the area do not use the nighttime rotation system. Otherwise, if the area use the nighttime rotation system, the burden of hospitals which accepted a large number of emergency patients without enough doctors became small.

(3) In areas that assumes the depopulated region, emergency patients were transported to all of the medial institutions whether the area used the nighttime rotation system or not. Compare with result(1) and (2), we found that when an area adopts the nighttime rotation system, transportation time of emergency patients will be shorten in result(1) and (2), but not in result(3).

(4) From result(3) , there is no big advantage of using the nighttime rotation system. So, we improve the nighttime rotation system and confirm the advantage of using the nighttime rotation system.

Conclusions:

In this study, we demonstrated the utility of the model we developed. In future, it is important to enhance the validity of the model. To do this, it is difficult to validate only by public data, open data reported data and so on. We think it is necessary to ask medical experts for their opinion and collaboration about our model to improve and validate.

keywords: Agent Based Modeling, Emergency medical system, Night-time emergency medical model

(accepted for publication, 29th January 2016)

I. 緒言

日本では救急医療対策として、昭和52年度から一次救急・二次救急・三次救急と、医療機関の整備がされてきた [1]。しかし、近年の日本において「ベッドの満床」「専門の当直医がない」などを要因として、救急患者が円滑に受け入れられないという事案が、救急搬送の現場で特に夜間に発生している (図1, 表1 参照)。多くの二次医療圏では、夜間救急医療に対応するため病院群輪番制度を導入しているが、当番病院を1日1病院とする地域や、複数の病院とする地域もある。また、重症患者と軽症患者で担当を分けている地域もあり輪番制度の実情は様々である。

救急医療に関する研究として、地域の医療体制に関する調査研究があげられる [3, 4]。また、病院群輪番制度

に焦点を当てた研究もなされており、市川らは夜間の当直ローテーションの組み換えと、当番病院の輪番方式の改善により、平均搬送時間が短縮できることをAgent Based Modelingを用いて示している [5]。

今後、限られた医療資源を効率的に使いさらなる制度の充実化を図っていくことが重要な課題となる中、本研究では現状の問題を鑑み、夜間二次救急を対象とした患者が発生してから病院に収容されるまでの流れをモデル化し、現行制度である病院群輪番制の導入ケースと導入しないケースで、救急患者の搬送時間と医療機関への搬送患者数にどのような影響があるのかを、シナリオ分析から判断する。評価指標として、救急車両到着から患者が医療機関へ収容されるまでの時間を用いる。シミュレーション結果を分析することで、救急患者と地域医療を支える医療機関へあたえる影響を明らかにし、構築し

表1 照会回数11回以上の事案における受入に至らなかった理由と件数
出典：総務省消防庁 [2]

		手術中・患者対応中	ベッド満床	処置困難	専門外	医師不在	初診	理由不明
重症患者	件数	668	2675	967	1217	61	16	4818
	割合(%)	6.4	25.7	9.3	11.7	0.6	0.2	46.2

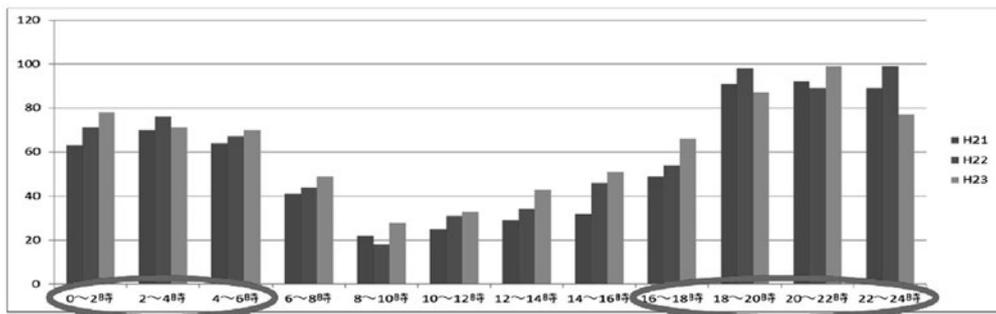


図1 照会回数11回以上の事案における覚知時間別の分布 (重症以上傷病者)
出典: 総務省消防庁 [2]

たモデルが今後の夜間救急医療制度を作り上げていく上での1つの判断材料となることを目指す。

II. 先行研究と本研究の位置づけ

シミュレーションモデルを用いた救急医療体制の評価を行っている研究には、病院群輪番制の効率化について患者の移動距離の最小化に焦点を当てた研究、道路ネットワークの強化から救急搬送時間の短縮化を行った研究、また、救急医療に関する資源の適正配分について救急搬送時間の側面から分析している研究がある [6-8]。しかし、救急患者が受診可能である医療機関かどうかを判断するための疾病区分と当直専門医の設定や、詳細な救急需要を表現するために不可欠である搬送経路の違いが考慮されておらず、実際の医療問題に適用することは難しい。それに対し、「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」は、Agent Based Modelingを用い、患者の実際の受療行動、医療サービスを反映したモデルを構築し、輪番制の有効性、搬送時間の短縮という視点から評価を行っている [5]。しかし、患者が同時に2人以上発生しない点、複数の地域で検証を行っていない点など、現実社会への適用の有用性を示すには不十分であると考えられる。

そこで本研究では、市川らが構築した夜間救急医療モデルの再構築を行い、複数地域での検証を行う。また、複数のシナリオで輪番制度の評価を行うことで、モデルを現実社会へ適用する有用性を示すものとする。

III. モデルについて

1. モデルの概要

本研究では、シミュレーション言語のSpot Oriented Agent Role Simulator (SOARS) [9] を利用し、Agent Based Modelingのアプローチでモデルを構築する。患者の年齢、傷病区分、傷病程度、搬送経路の違い、夜間の専門当直医の有無を考慮し、救急搬送モデルの構築を行う。必要な情報にあわせてデータを収集・加工し、モデル

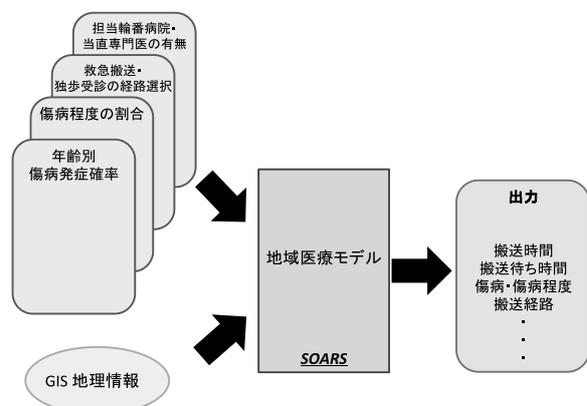


図2 モデルの概要図

に組み込んでいく (図2 参照)。本研究では、多地域にモデルを適用すること、および情報取得のための平等性を考慮し、政府などによって定期的に公表されているデータのみを用いる。従って、日本全国の地図における救急搬送モデルを構築することが可能である。平成26年12月1日現在で公開されているデータの中で、研究対象地域の年齢別人口は平成22年度「国勢調査」のデータを使用し、年齢別傷病発症確率、傷病程度の割合、救急搬送・独歩受診の経路選択の割合は、平成22年度「国勢調査」及び平成23年度「患者調査」のデータを加工した値を使用する。担当輪番病院・専門当直医の有無は、地域の医師会が公開しているデータを使用する。また研究対象とする地域のデータは、Geographic Information System (以下GISとする) から取得した地理情報データを使用する。本研究で用いるGISデータは、e-Statが公表している世界測地系緯度経度のデータを使用する。GISを活用することで、救急医療機関までの搬送時間などを計算することが可能となる。

2. 使用データの種類

ここでは、本研究で使用する統計データについて詳しく説明する。

(1) 年齢別傷病発症確率

年齢別傷病発症確率は、夜間1分間あたりに各傷病の救急患者が発生する確率^aと、各傷病を発症している患者の年齢構成比^bを乗算したものである。本研究では、「患者調査上巻第20表」に記載されている「病院」を二次救急病院、「診療時間外の受診」を夜間救急受診と位置づけ傷病別の夜間救急患者数を算出し、「国勢調査都道府県・市区町村別主要統計表」から日本の全人口を求めた。また、各傷病を発症している患者の年齢構成比は「患者調査閲覧第1表」の全日データから算出した。

(2) 傷病程度の割合

傷病程度の割合は、各傷病の重症患者と軽症患者を傷病ごとの総患者数で除算したものである。本研究では、「患者調査上巻第20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傷病程度の割合を算出した。

(3) 救急搬送・独歩受診の経路選択

救急搬送・独歩受診の経路選択は、各傷病の傷病程度別救急搬送患者数と傷病程度別独歩受診患者数を傷病程度ごとの総患者数で除算したものである。本研究では、「患者調査上巻第20表」に記載されている「救急車により搬送」を救急搬送患者、「徒歩や自家用車等による救急の受診」を独歩受診患者と位置づけ経路選択の割合を算出した。

(4) データの使用例

ここでは、(1)～(3)で説明したデータの使用例を示す。以下の式は医療機関に救急車両により搬送されてきた成人患者が、消化器系の症状を発症し重症である確率を示している。

$$\begin{aligned}
 & \frac{\text{消化器系の症状を発症した重症患者（成人）が}}{\text{救急車両で搬送される確率}} \\
 = & \frac{\text{夜間1分間あたりに消化器系の傷病を発症した}}{\text{救急患者が発生する確率}} \\
 & \times \\
 & \text{消化器系の患者が成人である確率} \\
 & \times \\
 & \text{消化器系の症状が重症である確率} \\
 & \times \\
 & \frac{\text{消化器系の重症患者が}}{\text{救急車両で搬送される確率}}
 \end{aligned}$$

3. モデルの詳細

ここでは、本研究で構築したモデルについて詳しく説

^a 夜間1分間あたりに各傷病の救急患者が発生する確率：傷病別夜間救急患者数と日本の全人口との除算値

^b 各傷病を発症している患者の年齢構成比：各傷病の年齢別患者数と各傷病の総患者数との除算値

明する。

(1) 仮想二次医療圏

仮想二次医療圏は、市区町村内の町丁・字などを最小の地域単位とし、医療機関、消防署から構成され、それぞれが緯度、経度の位置情報を保持する。

(2) 医療機関

医療機関は、24時間対応の二次救急医療機関を示す。各医療機関は、病院群輪番制の担当日、各診療科の当直専門医の有無といった情報を保持する。当直医の人数に関しては、公開されている情報がないため、当直当番の情報や医療機関の診療科から推定を行った。

本研究で用いる診療科は、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き11の診療科に分類した(表2参照)ものを用いる[5]。

また、医療機関は各診療科の患者待機リストを保持している。受診する患者の情報は患者待機リストに追加され、リストの先頭から患者の治療が行われていく。受診可能であるかどうかの判定、患者の収容、患者優先度判定(図5参照)を行う際は、リスト内の情報から判断していく。

図3は、独歩受診患者が患者待機リストに入るまでの流れを示している。独歩受診患者が軽症である場合、患者待機リストの最後尾へと追加される。独歩受診患者が重症である場合は、患者待機リスト内が空、もしくは軽症患者のみである場合はリストの先頭に優先的に入り、リスト内に既に重症患者が待機している場合は、その重症患者の次にリストへと追加される。

図4は、救急搬送患者が患者待機リストに入るまでの流れを示している。救急搬送患者が軽症である場合、患者待機リストの最後尾へと追加される。救急搬送患者が重症である場合は、患者待機リスト内が空、もしくは軽症患者のみである場合はリストの先頭に優先的に入り、リスト内に既に重症患者が待機している場合は、医療機関は受入を拒否する。

なお、独歩受診の重症患者2人以上が同時に受診した

表2 診療科の分類

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

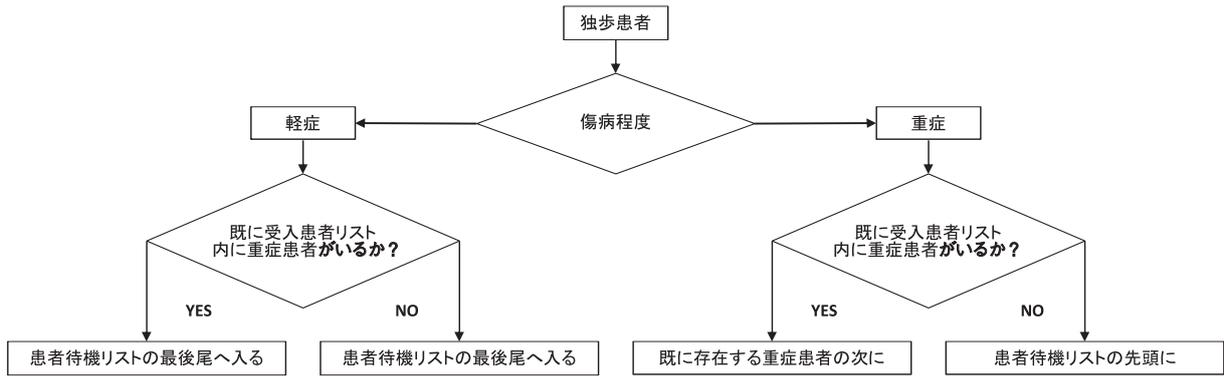


図3 独歩受診患者が患者待機リストに入るまでのフローチャート

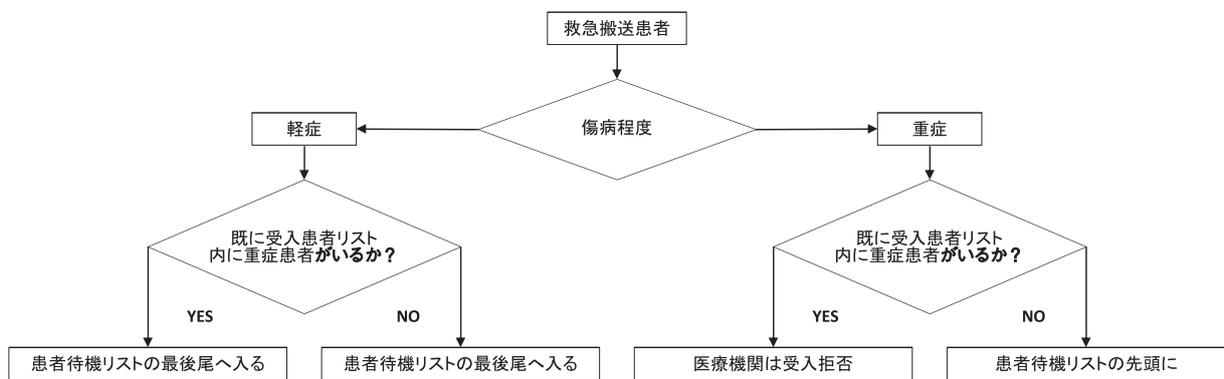


図4 救急搬送患者が患者待機リストに入るまでのフローチャート

場合、独歩受診患者と救急搬送患者がともに重症患者であり、収容時刻が同時である場合は、リスト内の先頭に先に入った患者を先に診察するものとし、受入の拒否は行わない。本研究では軽症患者の治療時間を10分、重症患者の治療時間を30分とした。治療時間に関しては、あくまでシステムとしての挙動を確かめるために仮に設定した値で、傷病や症度に応じて治療時間は柔軟に設定が可能である。

(3) 消防署

消防署は、救急車両を保有する。

(4) 住民エージェント

住民は、性別に関係なく年齢に応じて小児、成人、高齢と振り分けられ、各市区町村内の町丁・字などで生成される。年齢別傷病発症確率に従って患者へと変化し、患者は傷病区分と傷病程度を保持し、救急搬送か独歩受診の経路選択を行う(図5参照)。傷病区分は世界保健機関(WHO)が定める「疾病及び関連保健問題の国際統計分類」(ICD)を基に分類した(表3参照)。なお、独歩受診患者の平均移動速度は「国土交通省道路局 道路交通センサスからみた道路交通の現状、推移」より30 km/hとした。

(5) 救急車両エージェント

救急車両は各消防署に所属するように割り当てられる。

表3 傷病区分の分類

傷病区分	ICD分類
脳神経系	IX-脳血管疾患
循環器系	IX-高血圧性疾患, 心疾患
神経系	VI
消化器系	XI
呼吸器系	X
精神系	V
感覚器系	VII, VIII
泌尿器系	XIV
その他内科系	I, II, III, IV, XII
	XV, XVI, XVII, XVIII, XXI
外科系	XIII, XIX

患者となった住民エージェントの医療機関への搬送を担当する。患者の保持する傷病区分の情報と医療機関が保持する輪番当番および専門当直医の情報から、搬送する

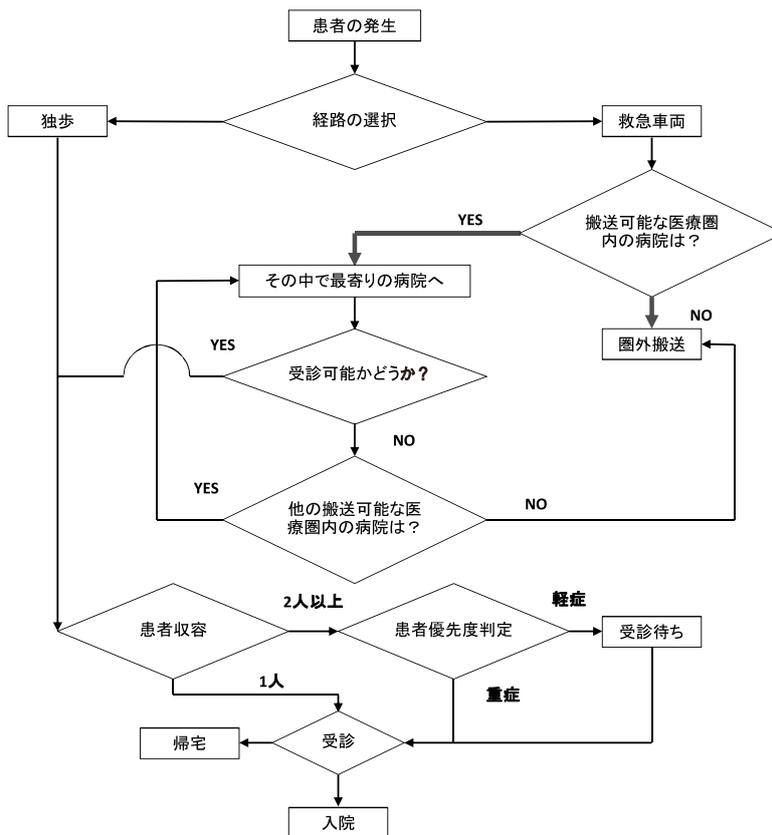


図5 モデルのフローチャート

医療機関を決定する（図5参照）。医療圏内に該当する医療機関がない場合は、圏外への搬送を行う。圏外搬送は、三次救急医療機関への搬送と仮定し、全ての傷病に対し受入を行う。なお、救急車両の平均搬送速度は独歩受診患者の移動速度の2倍にあたる60km/hと仮定した。

また、シミュレーション内の移動時間は、市区町村内の町丁・字等、医療機関、消防署が持つ緯度、経度から直線距離を算出し、移動速度で除算した値を使用する。圏外搬送にかかる移動時間は一律30分とした。

(6) モデルのフローチャート

図5は、本研究で構築した夜間救急医療モデルのフローチャート図である。患者の発生から医療機関へ収容されるまでの一連の流れを示している。赤線部分は、本研究で用意したシナリオで変化する部分である。シナリオの内容についてはV. 1. で説明する。

IV. モデルの適用

本研究では、GISから取得した3つの地域でシミュレーションを行う。図6, 8, 9は、それぞれ二次医療圏全体の図であり、色が濃くなっている区域は人口集中地域⁶である。また、本研究では二次医療圏内で閉じた空間を前提とする。例外的に圏外搬送を行うが、医療圏外

からの搬送患者は存在しない。

1. 仮想二次医療圏1（地方都市型）について

仮想二次医療圏1は地方都市を想定した設定となっており、地域面積が広く人口も多い地域になっている。また、地域の特徴として消防署は医療圏全体にまんべんなく配置されているが、医療機関は人口集中地域に集まっている。図6に各消防署に配備されている救急車両の台数と医療機関を示す。また、人口集中地域においては拡大図を図7に示す。

この地域では、夜間救急医療制度として病院群輪番制が導入されており、地域医療の主軸となっている3つ医療機関（A, C, D病院）と残りの9つの医療機関で、それぞれローテーションが生まれ毎日2つの医療機関が輪番担当に指定されている。また、脳神経系、循環器系、感覚器系、その他内科系、外科系、小児系においては、医療圏内で最低1名は常に当直している。

なお、地域の人口規模は実際の1/10スケールとしている。詳細なデータを表4に示す。

⁶ 人口集中地区：1）原則として人口密度が1平方キロメートルあたり4000人以上の基本単位区等が市区町村の境界内で互いに隣接している地域
2）それらの隣接した地域の人口が国勢調査時に5000人以上を有するこの地域

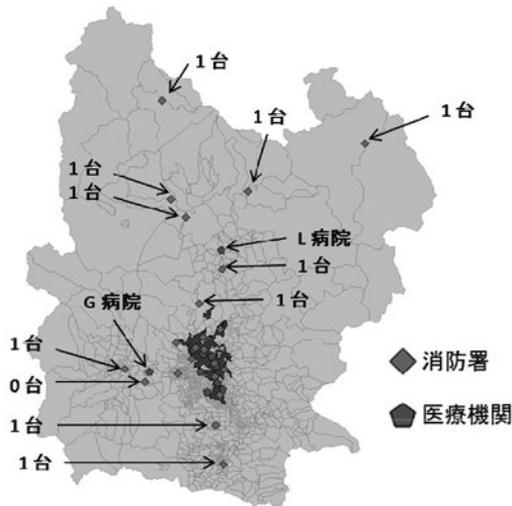


図6 仮想二次医療圏1

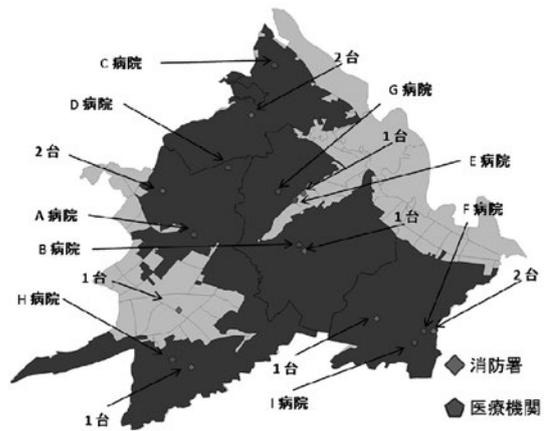


図8 仮想二次医療圏2

表5 仮想二次医療圏2における初期データ

初期設定	
総人口	43566
小児数	6051
成人数	29668
高齢数	7847
市区町村数	4
町丁・字等数	225
医療機関数	9
消防署数	8
救急車両数	11

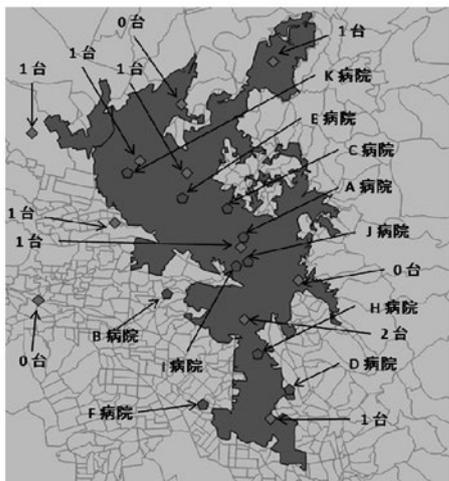


図7 人口集中地区の拡大図

表4 仮想二次医療圏1における初期データ

初期設定	
総人口	47675
小児数	6277
成人数	30627
高齢数	10771
市区町村数	8
町丁・字等数	1392
医療機関数	12
消防署数	22
救急車両数	19

2. 仮想二次医療圏2 (大都市型) について

仮想二次医療圏2は大都市を想定した設定となっており、人口は仮想二次医療圏1と近い値になっているが、地域面積が狭い分医療圏全体が人口集中地区になっている。また、地域の特徴として医療機関と消防署が医療圏全体にまんべんなく配置されている。図8に各消防署に配備されている救急車両の台数と医療機関を示す。

この地域では、夜間救急医療制度として病院群輪番制が導入されており、毎日1つの医療機関が輪番担当病院と指定され、9つの医療機関でローテーションを組んでいる。また、脳神経系、循環器系、その他内科系、外科系においては、医療圏内で最低1名は常に当直している。

なお、地域の人口規模は実際の1/10スケールとしている。詳細なデータを表5に示す。

3. 仮想二次医療圏3 (過疎地域型) について

仮想二次医療圏3は過疎地域を想定した設定となっており、人口が少ない地域になっている。また、地域の特

徴として医療機関と消防署の配置に偏りがある。図9に各消防署に配備されている救急車両の台数と医療機関を示す。

この地域では、夜間救急医療制度として病院群輪番制が導入されており、毎日1つの医療機関が輪番担当病院

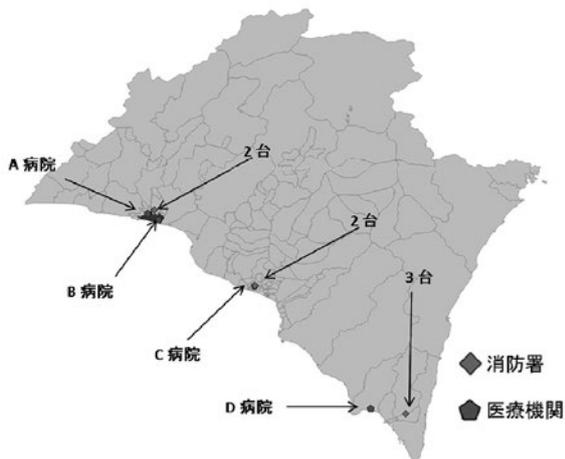


図9 仮想二次医療圏3

表6 仮想二次医療圏3における初期データ

初期設定	
総人口	53513
小児数	5322
成人数	29094
高齢数	19097
市区町村数	9
町丁・字等数	172
医療機関数	4
消防署数	3
救急車両数	7

と指定され、4つの医療機関でローテーションを組んでいる。また、その他内科系、外科系においては、医療圏内で最低1名は常に当直している。

なお、仮想二次医療圏3においては実際の人口が少ないため1/1スケールとする。詳細なデータを表6に示す。

V. シミュレーション結果と分析

1. シナリオの詳細

それぞれの地域で、3つのケースをシミュレーションする。それぞれの内容を表7に示す。

地域の住民は、傷病を発症したらできるだけ早い受診を望み（ケース1）、医療機関は医師の負担を考え夜間救急患者は出来るだけ医療圏内の医療機関にまんべんなく搬送されること（ケース2、ケース3）が好ましい。これらのシナリオを考慮しながら分析を行っていく。

また、本研究では1日の内12時間を夜間救急の時間帯と位置づけ28日間行う。1ステップを1分間隔とし、5回シミュレーションを行い、平均値をケースごとの値とする。

2. シミュレーション結果と分析—その1—

ここでは、仮想二次医療圏1におけるシミュレーション結果とその分析をまとめる。

表8は、仮想二次医療圏1の各医療機関が受け入れた搬送患者数を示している。ケース1の輪番制度を導入していない場合、ケース2、3の輪番制度を導入している場合ともに地域医療の軸となっているA、C、D病院へ搬送されている人数が多いことが確認できる。これは、3病院とも他の病院より当直させている医師の数が多く、人口集中地区に病院が配置されていることから救急患者が搬送されやすいためだと考えられる。また、当直させている医師の数が少ないにもかかわらず、人口の多い地域に立地していることで搬送受入れ人数が多いE、F、K病院は、輪番制度を導入することで負担を軽減することができている。これは、A、C、D病院の輪番担当となる回数が多いため、当直医の数が少ない病院の負担を軽減していると考えられる。

図7 ケースごとの内容

ケース1	患者の発症している傷病に適した当直専門医がいる、最寄りの医療機関へ搬送
ケース2	病院群輪番制度の下、 輪番担当の医療機関に、患者の発症している傷病に適した当直専門医がいる場合は輪番担当病院へ優先的に搬送し、専門医がいなかった場合は専門医のいる最寄りの医療機関へ搬送
ケース3	病院群輪番制度の下、 輪番担当の医療機関へ最優先に搬送し、患者の発症している傷病に適した当直専門医がいなかった場合は専門医のいる最寄りの医療機関へ転送

表8 仮想二次医療圏1における各医療機関への搬送患者数

	搬送患者受入数(人)		
	ケース1	ケース2	ケース3
A 病院	20	40	35
B 病院	7	1	3
C 病院	21	51	44
D 病院	9	21	20
E 病院	22	4	10
F 病院	13	2	4
G 病院	1	2	4
H 病院	4	1	2
I 病院	2	4	3
J 病院	7	6	8
K 病院	13	3	3
L 病院	5	1	0
圏外	28	23	23

表10 仮想二次医療圏2における各医療機関への搬送患者数

	搬送患者受入数(人)		
	ケース1	ケース2	ケース3
A 病院	20	15	15
B 病院	5	4	4
C 病院	1	3	2
D 病院	23	25	25
E 病院	12	15	15
F 病院	3	4	3
G 病院	15	23	18
H 病院	5	3	4
I 病院	31	32	32
圏外	29	29	30

表9 仮想二次医療圏1における搬送患者1人あたりの平均搬送時間

	1人あたりの平均搬送時間(分)		
	ケース1	ケース2	ケース3
A 病院	7	9	10
B 病院	6	9	10
C 病院	9	10	12
D 病院	5	11	11
E 病院	9	13	8
F 病院	6	6	14
G 病院	5	8	15
H 病院	5	11	7
I 病院	2	7	8
J 病院	2	8	10
K 病院	9	5	12
L 病院	15	13	13
圏外	30	30	44

表9は、仮想二次医療圏1の搬送患者1人あたりの平均搬送時間を示している。なお、ここで示している平均搬送時間は救急車両が患者を乗せ医療機関へ搬送している移動時間のこと、消防署から患者のもとへ移動している時間は含んでいない。ケース1の輪番制度を導入していない場合に比べ、ケース2、3の輪番制度を導入している場合の方が多くの医療機関で搬送時間が長くなっている。これは、輪番担当病院に優先して搬送している分長くなったと考えられる。

3. シミュレーション結果と分析—その2—

ここでは、仮想二次医療圏2におけるシミュレーション結果とその分析をまとめる。

表10は、仮想二次医療圏2の各医療機関が受け入れた搬送患者数を示している。ケース1の輪番制度を導入していない場合、A、D、E、G、I病院へ搬送されている人数が多いことが確認できる。これは、D、E、G、I病院は他の病院に比べ当直させている医師の数が多いためであると考えられる。また、ケース2、3の輪番制度を

表11 仮想二次医療圏2における搬送患者1人あたりの平均搬送時間

	1人あたりの平均搬送時間(分)		
	ケース1	ケース2	ケース3
A 病院	2	3	5
B 病院	1	2	2
C 病院	1	5	5
D 病院	2	3	5
E 病院	1	2	3
F 病院	1	4	4
G 病院	2	2	4
H 病院	2	5	5
I 病院	2	4	6
圏外	30	30	34

導入している場合、医師の数が少ないA病院の負担を軽減できていることが確認できる。

表11は、仮想二次医療圏2の搬送患者1人あたりの平均搬送時間を示している。なお、ここで示している平均搬送時間は救急車両が患者を乗せ医療機関へ搬送している移動時間のこと、消防署から患者のもとへ移動している時間は含んでいない。ケース1の輪番制度を導入していない場合とケース2、3の輪番制度を導入している場合との平均搬送時間に大きな差が生じていない。これは、仮想二次医療圏2の地域面積が狭く、各医療機関がまんべんなく均等に配置されているためだと考えられる。

4. シミュレーション結果と分析—その3—

ここでは、仮想二次医療圏3におけるシミュレーション結果とその分析をまとめる。

表12は、仮想二次医療圏3の各医療機関が受け入れた搬送患者数を示している。ケース1の輪番制度を導入していない場合とケース2、3の輪番制度を導入している場合ともに、4つの医療機関にまんべんなく均等に救急患者が搬送されている。

表13は、仮想二次医療圏3の搬送患者1人あたりの平均搬送時間を示している。なお、ここで示している平均搬送時間は救急車両が患者を乗せ医療機関へ搬送している移動時間のこと、消防署から患者のもとへ移動して

表12 仮想二次医療圏3における各医療機関への搬送患者数

	搬送患者受入数(人)		
	ケース1	ケース2	ケース3
A 病院	4	5	4
B 病院	2	3	2
C 病院	5	4	5
D 病院	4	4	4
圏外	8	6	9

表13 仮想二次医療圏3における搬送患者1人あたりの平均搬送時間

	1人あたりの平均搬送時間(分)		
	ケース1	ケース2	ケース3
A 病院	9	13	21
B 病院	7	18	23
C 病院	11	12	24
D 病院	17	23	35
圏外	30	30	46

いる時間は含んでいない。ケース1の輪番制度を導入していない場合に比べ、ケース2, 3の輪番制度を導入している場合の方が全ての医療機関で搬送時間が長くなっている。これは、輪番担当病院に優先して搬送している分長くなったと考えられる。

仮想二次医療圏1, 2に比べ、特定の医療機関に負担がかかかっていないにもかかわらず、輪番制度を導入することで平均搬送時間だけが長くなってしまっている。

5. モデルの活用例 (改善シナリオの揭示)

ここでは、仮想二次医療圏3における改善シナリオについての説明と、そのシミュレーション結果と分析について述べる。

(1) 改善シナリオの提案

2~4より、仮想二次医療圏1, 2に比べ仮想二次医療圏3では病院群輪番制度が機能していないことが分かった。ここで提案する改善シナリオは、当直する専門医の内訳を変えることで仮想二次医療圏3にあたる効果を示す。なお、各医療機関が当直させる医師の数は変えないものとする。

人口集中地区に配置されているA病院に脳神経系、循環器系、消化器系、呼吸器系、小児系の専門医を中心に当直させる。仮想二次医療圏3の中心に近い所に位置するC病院では、その他内科系、外科系の医師を当直させつつ、A病院で脳神経系、循環器系の専門医を当直させることができない日は可能な限り両専門医を当直させる。B, D病院はその他内科系、外科系を中心に当直させる。表14, 15は、それぞれ仮想二次医療圏3全体の当直専門医の内訳を示している。表14は、現在の当直専門医の内訳、表15は改善シナリオで用いる当直専門医の内訳を示している。aは輪番当直病院数、bは脳神経系、cは循環器系、dは神経系、eは消化器系、fは呼吸器系、gは精神

表14 現在の当直専門医の内訳

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	合計
1日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	5
2日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	5
3日	1	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1	0	5
4日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	5
5日	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	5
6日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	5
7日	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	1	5
8日	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	5
9日	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	5
10日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	5
11日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	1	5
12日	1	2	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	5
13日	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	5
14日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	0	5
15日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	5
16日	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	5
17日	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	5
18日	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	5
19日	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	5
20日	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	5
21日	1	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	6
22日	1	0	1	0	1	0	0	0	0	2	1	0	5
23日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	1	5
24日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	5
25日	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	5
26日	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	5
27日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	5
28日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	5
合計	15	10	1	5	2	0	0	1	46	44	17	141	

表15 改善シナリオでの当直専門医の内訳

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	合計
1日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	5
2日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	5
3日	1	0	1	0	1	0	0	0	0	2	1	0	5
4日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	5
5日	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	5
6日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	5
7日	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	5
8日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	1	5
9日	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	5
10日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	5
11日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	1	5
12日	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	5
13日	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	5
14日	1	0	1	0	1	0	0	0	0	2	1	0	5
15日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	5
16日	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	5
17日	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	5
18日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	5
19日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	5
20日	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	5
21日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	6
22日	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	2	0	5
23日	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	1	5
24日	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	5
25日	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	5
26日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	5
27日	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	5
28日	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	5
合計	15	15	0	7	7	0	0	0	39	40	18	141	

表16 改善シナリオにおける各医療機関への搬送患者数

	搬送患者受入数(人)		
	ケース1	ケース2	ケース3
A 病院	5	6	6
B 病院	4	4	5
C 病院	3	6	5
D 病院	7	8	5
圏外	3	5	5

表17 改善シナリオにおける搬送患者1人あたりの平均搬送時間

	1人あたりの平均搬送時間(分)		
	ケース1	ケース2	ケース3
A病院	15	14	26
B病院	11	11	19
C病院	15	14	20
D病院	16	21	30
圏外	30	30	46

系, hは感覚器系, iは泌尿器系, jはその他内科系, kは外科系, lは小児系をそれぞれ示している。全体として, その他内科系, 外科系の当直医の一部が, 循環器系, 消化器系, 呼吸器系の医師へと変わっていることが分かる。(2) シミュレーション結果と分析—その4—

ここでは, 改善シナリオにおけるシミュレーション結果とその分析をまとめる。

表16は, 改善案を考慮した仮想二次医療圏3の各医療機関が受け入れた搬送患者数を示している。ケース1の輪番制度を導入していない場合とケース2, 3の輪番制度を導入している場合ともに, 4つの医療機関にまんべんなく均等に救急患者が搬送されている。しかし, 改善前の結果(表12参照)と比べ圏外へと搬送される救急患者が比較的減少した。これは, 医療圏内にある循環器系, 消化器系, 呼吸器系の専門医を増やしたことが影響していると考えられる。

表17は, 改善案を考慮した仮想二次医療圏3の搬送患者1人あたりの平均搬送時間を示している。なお, ここで示している平均搬送時間は救急車両が患者を乗せ医療機関へ搬送している移動時間のことで, 消防署から患者のもとへ移動している時間は含んでいない。ケース1の輪番制度を導入していない場合に比べ, ケース2, 3の輪番制度を導入している場合で, D病院に搬送時間の増加がみられた。これは, D病院が医療圏内の端にあるためだと考えられる。しかし, 改善前(表13参照)と比べケース1とケース2との搬送時間の差は小さいことが確認できる。

VI. おわりに

1. 本研究のまとめ

本研究は, 市川らが構築した夜間救急医療システムの

モデルを, 患者の同時発生を可能にし, 医療圏内のデータのみを変更するだけで複数地域での検証を行える汎用的なモデルへ再構築を行った。また, 3つの地域でシミュレーションを行い, 検証することでモデルの有用を示したものである。

仮想二次医療圏1は地方都市, 仮想二次医療圏2は大都市, 仮想二次医療圏3は過疎地域を想定した設定とした。既存の医療資源の中で, 救急搬送先に関する夜間救急医療システムを導入した場合としない場合とを比べ住民と医療機関双方にどのような影響を与えるのかを分析し, 夜間救急医療システムの評価を行った。評価のために3つのシナリオを用意し, ケース1は住民の満足度を優先としたシナリオとした。また, ケース2, 3は, 医療機関の事情を優先としたシナリオとした。

仮想二次医療圏1, 2では, 輪番制度を導入することで極端に負担がかかってしまっている医療機関への搬送人数を抑えることが可能であった。搬送時間に関しては, 輪番担当病院へ優先的に搬送している分長くなっているが, 極端な時間の増加はみられなかった。それに対し, 仮想二次医療圏3では, 輪番制度の導入した場合, しない場合ともに各医療機関へ搬送される患者の数に変化がみられなかった。さらに, 輪番担当病院へ優先的に搬送することで搬送時間が伸びてしまい, 輪番制度としての効果は発揮できていなかった。改善シナリオを考慮したケースでは, 輪番制度の導入した場合, しない場合ともに各医療機関へ搬送される患者の数に変化がみられなかったが, 圏外へ搬送される救急患者が改善前と比べ減少した。また, 搬送時間に関しては, 輪番制度の導入した場合, しない場合では多くの医療機関で差はみられなかった。

本研究で試みた改善案では, 輪番制度の効果を仮想二次医療圏3に対し十分に発揮させることはできなかったが, 当直させる医師の数を変えずに専門を変えることで, 圏外へ搬送される患者の数を減らすことができると確認できた。また, 人口が多い地域(地方都市の人口集中地域, 大都市圏)では輪番制度は有効に働くが, 人口の少ない地域(過疎地域)では輪番制度が機能しにくいことが分かった。

医師の数だけではなく専門性の偏在が今日の大きな問題となっている。実際に医師の専門を変えることは, 簡単ではない。各医療圏, 医療機関が, 既存の限られた医師の専門を詳細に把握し, 適材適所へ配置する必要があることに加え, どの専門医を優先して育成していかなければならないのかを考えていかなければならない。

本研究の目的はモデルの実社会への有用性を示すことであつたので, モデルの妥当性の評価については行わなかった。

2. 今後の展望

今後の課題として, 救急車両を要請してから医療機関へ収容されるまでの時間を考慮しなければならない。ま

た、構築したモデルの妥当性に関しては、重要な課題の1つになると言える。本研究では、公開されていない情報は推定値を利用している。当直している専門医の人数、傷病や症度の違いによって異なる実際の治療時間や、シミュレーション結果と比較する実際のデータに関しては、公開されているデータだけでは難しく、地域医療に従事した専門家の協力が必須である。

今後、公開されているデータに加え、独歩患者への医療機関選択に関するアンケート調査など、シミュレーション結果と比較できるデータを調査研究で収集していく必要がある。また、救急車両の稼働状況、夜間の患者情報といった医療分野におけるビッグデータの活用ができるようになれば、本研究のモデルがより現実を表現したものになる。

引用文献

- [1] 厚生労働省. 救急医療体制等のあり方に関する検討会報告書. 2014.
- [2] 総務省. 救急業務のあり方に関する検討会参考資料. 2012.
- [3] 境野高資, 本間多恵子, 辻聡, 石黒精, 阪井裕一. 搬送先選定困難により東京ルールに該当した小児救急症例の検討-小児外傷診療体制整備の必要性-. 日本救急医学会雑誌. 2013;24(5):241-246.
- [4] 田中康城. 拡大メディカルコントロール協議会が調整し作成した傷病者観察項目とトリアージ基準—疾患別受入れ医療機関リストを用いた救急医療体制の検討—. (財) 救急振興財団調査研究助成事業. 2010.
- [5] 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. システム制御情報学会論文誌. 2014;27(7):259-267.
- [6] 松本立子. 移動距離に着目した夜間小児医療施設配置. 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会. 2005.
- [7] 大橋幸子, 藤田素弘. 救急医療機関への移動に長時間を要する地域の特性と改善策に関する研究. 都市計画論文集. 2012;47(3):739-744.
- [8] 山田康夫. GISを用いたシミュレーションによる救急医療機関集約化に関する研究. ITヘルスケア. 2009;4(1):18-21.
- [9] SOARS. <http://www.soars.jp/> (accessed 2016-01-28)