

社会シミュレーションを用いた地域医療連携体制の検討

○不動翔太郎（芝浦工業大学）市川学（東京工業大学）中井豊（芝浦工業大学）

Study on Regional Medical Cooperation System Using Agent Based Simulation

Based on Government Statistics

*S. Fudo (Shibaura Institute of Technology) M. Ichikawa (Tokyo Institute of Technology)

Y. Nakai (Shibaura Institute of Technology)

Abstract— In recent years, increase in emergency transport time is a problem in Japan. To analyze the social problems, it is studied to use a model using the technique of Agent Based Modeling (ABM). The studies have evaluated the emergency medical system using the ABM, there are things made a scenario analysis of the health care system to build a night-time emergency medical model. This study demonstrates the utility to re-build of night-time emergency medical model, verification is performed in multiple areas, to apply to the real world.

Key Words: ABM Emergency medical system Night-time emergency medical model

1 はじめに

1.1 研究背景

日本では救急医療対策として、昭和52年度から初期・二次救急・三次救急（救命救急）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「専門の当直医がない」「救急利用の増加」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、夜間救急搬送の現場で特に発生している。多くの医療圏では、夜間救急医療に対応するため病院群輪番制度¹⁾が導入されており、輪番制度に焦点を当てた研究もなされている。春日は、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示している²⁾。

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問題となる。

1.2 目的

本研究では、夜間二次救急を研究対象とし、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。なお、Fig. 1は、従来の夜間救急医療の体系図であり、赤い矢印が本研究の対象となる部分である。シミュレーション結果を分析することで、地域の住人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、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。

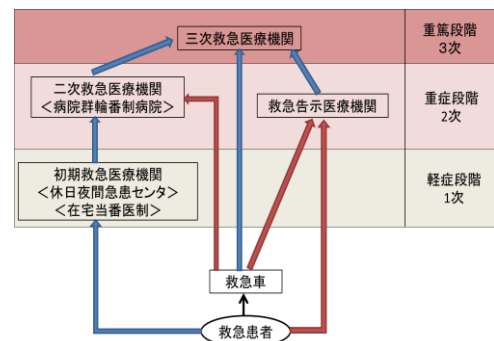


Fig. 1: 従来の夜間救急医療体系図

2 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³⁾、また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⁴⁾があげられる。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医療サービスの評価・分析」²⁾は、Agent Based Modeling (以下 ABM とする) 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。しかし、夜間救急医療モデルに全日のデータを使用している点、複数の地域で検証を行っている点など、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、春日が構築した夜間救急医療システムのモデルを参考に、夜間救急医療モデルの再構築を行い、複数地域での検証

¹⁾病院群輪番制度：二次医療圏内の複数の病院が当番制により、休日及び夜間の入院機能の確保を目的とした制度

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。なお、本研究では救急医療制度が住民と医療機関に与える影響を計るため、治療時間、病床数は考慮しないものとする。

3 モデル概要

本研究では、シミュレーション言語の Spot Oriented Agent Role Simulator (SOARS)⁵⁾ を利用し、ABM の手法を用いてモデル化を行う。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・加工をし、モデルに組み込んでいく (Fig. 2 参照)。本研究では、多地域にモデルの適用をすること、および情報取得のための平等性を考慮し、政府等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。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 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たデータを用いる。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。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。

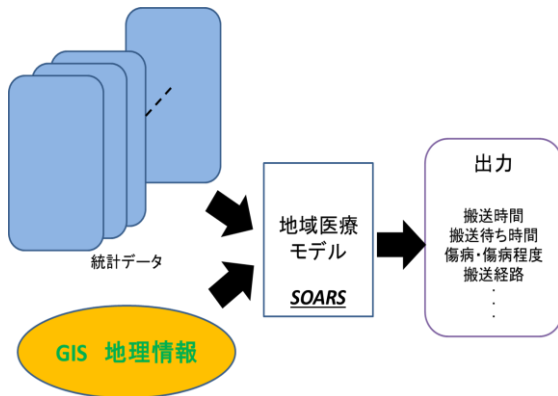


Fig. 2: モデルの概要図

4 モデルの説明

ここでは、本研究で構築したモデルについて詳しく説明する。

4.1 仮想二次医療圏

仮想二次医療圏²⁾は、市区町村内の町丁・字等を最小

²⁾二次医療圏: 医療の需要に対応するために設定する区域のことであり、医療圏ごとに基準病床数などの計画が立てられている

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。

4.2 医療機関

医療機関は、24 時間対応の二次救急医療機関を表す。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。本研究で用いる診療科は、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 個に分類した (Table 1 参照)。

Table 1: 診療科の分類

本研究における診療科	現実の診療科
脳血管疾患	脳神経外科
心疾患	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
小児科	小児科

4.3 消防署

消防署は、救急車両を保有する。

4.4 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・字等で生成される。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 (Fig. 3 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 (Table 2 参照)。

Table 2: 傷病区分の分類

傷病区分	ICD 分類
脳血管疾患	IX - 脳血管疾患
心疾患	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

4.5 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。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、搬送する医療機関を決定する (Fig. 3 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け入れを行う。なお、救急車両の平均搬送速度は 60km/h とした。

シミュレーション内の搬送時間は、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。なお、本モデルにおける 1 ステップは 1 分の時間間隔を表す。

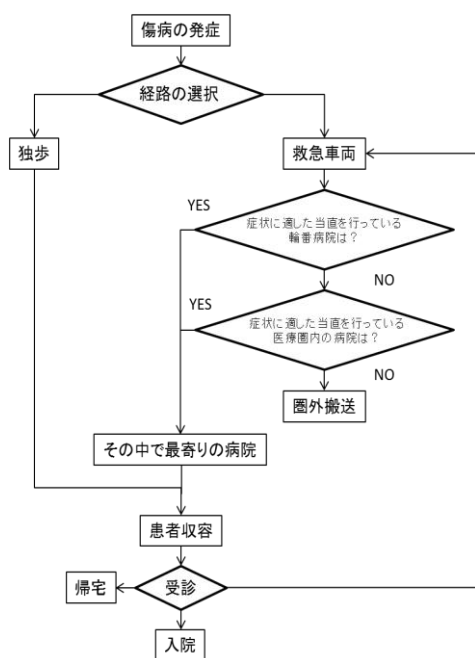


Fig. 3: モデルのフローチャート

5 モデルの適用

本研究では、GIS から取得した二地域 (Fig. 4, Fig. 5 参照) でシミュレーションを行う。

仮想二次医療圏 1 は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。主軸となる 3 病院は、内科、外科、脳神経外科、循環器科、小児科を常に当直させており、医療圏内の重症患者を診療している。残りの 9 病院は、内科か外科の当直医を当直させ、軽症・中等症の患者を診療している。なお、地域の人口規模は実際の 1/100 スケールとしている。詳細なデータを Table 3 に示す。

仮想二次医療圏 2 は、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。医療圏内には、内科、外科、脳神経外科、循環器科とまんべんなく専門医を当直させているが、小児科医の当直がない日が存在する。また、仮想二次医療圏 1 と同様に、地域の人口規模は 1/100 スケールとしている。詳細なデータを Table 4 に示す。

また、両地域において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。

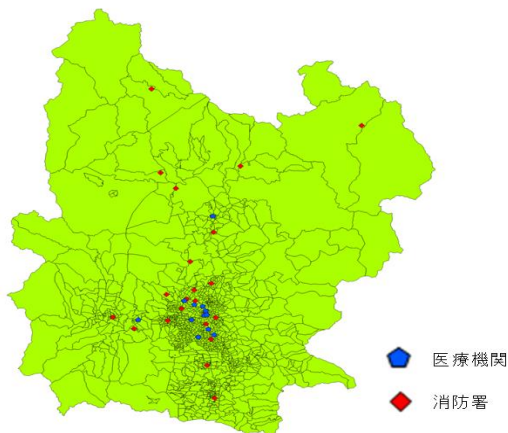


Fig. 4: 仮想二次医療圏 1

Table 3: 仮想二次医療圏 1 における初期データ

初期設定	
総人口	4767
小児数	628
成人数	3063
高齢数	1077
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

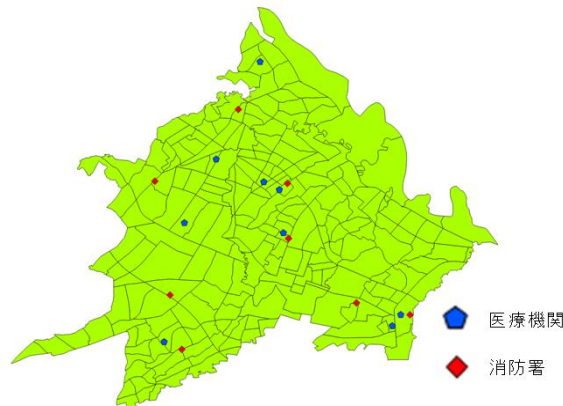


Fig. 5: 仮想二次医療圏 2

Table 4: 仮想二次医療圏 2 における初期データ

初期設定	
総人口	4357
小児数	605
成人数	2967
高齢数	785
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	12

Table 5: シミュレーション結果①

1日当たりの搬送割合(%)			
病院	ケース1	ケース2	ケース3
A	12	23	22
B	3	2	2
C	22	25	27
D	7	10	11
E	13	5	4
F	5	2	2
G	0	0	2
H	3	3	1
I	2	4	4
J	4	4	3
K	8	3	4
L	3	1	1
圏外	17	18	18

6 シミュレーション結果

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

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、専門医がいない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、輪番担当病院へ搬送し、専門医がいない場合、専門医のいる最寄りの医療機関へ搬送

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が好ましい(ケース 2, ケース 3)。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、1日の内12時間を夜間救急の時間帯と位置づけ30日間行う。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。

6.1 仮想二次医療圏 1 における分析結果

仮想二次医療圏 1 では、A, C, D 病院が地域医療の主軸となり、残りの医療機関はサポートをする方式を取っている。シミュレーションから得られたケース 1, 2, 3 の、1日あたりの医療機関に収容される患者の割合を Table 5 に、患者 1 人あたりの搬送時間を Table 6 に示す。

ケース 1, 2, 3 において、地域医療の主軸となっている A, C, D 病院への搬送割合が多いことを確認できる。輪番制度を導入していないケース 1 と制度を導入しているケース 2, 3 では、制度を導入することで E 病院と K 病院の負担を軽減していることが分かる。E 病院と K 病院は医療圏内の中でも人口の多い地域にあり、主軸の医療機関ではないにも関わらず救急搬送患者が搬送される確率が高い。しかし、制度を導入することで症状の合う患者は優先的に当番病院へ搬送されるため、負担の軽減につながっている。

次に、ケース 1, 2 において G 病院へ患者が搬送されていない所に注目する。仮想二次医療圏 1 は地域の面積に対し多くの医療機関が一部に集まっていること、また本研究での搬送先選定基準が、専門当直医の有無、搬送時間のみであったことから、G 病院が距離的に搬送されにくい位置にあったものだと考えられる。

Table 6: シミュレーション結果②

1人あたりの搬送時間			
病院	ケース1	ケース2	ケース3
A	10	13	29
B	12	13	40
C	14	14	40
D	10	15	44
E	12	15	33
F	12	13	33
G	0	0	0
H	10	13	27
I	5	13	16
J	6	13	18
K	14	18	21
L	23	21	33
圏外	35	35	58

また、1人あたりの搬送時間は、ケース 1, 2 とケース 3 では大きく差が生じており、ケース 3 を制度として取り入れることは考えにくい。ケース 1, 2 においては、大幅な搬送時間の差はなく、この地域においてはケース 2 の状態で輪番制度を導入し、特定の医療機関に負担をかけすぎずに運営していく事が可能である。

6.2 仮想二次医療圏2における分析結果

仮想二次医療圏2では、前節でも述べたように9つの医療機関で、毎日1病院が輪番担当に指定される。シミュレーションから得られた、ケース1, 2, 3の、1日あたりの医療機関に収容される患者の割合を Table 7に、患者1人あたりの搬送時間を Table 8に示す。

Table 7: シミュレーション結果③

病院	1日当たりの搬送割合(%)		
	ケース1	ケース2	ケース3
A	8	9	8
B	3	2	2
C	5	2	2
D	29	17	20
E	5	12	9
F	2	2	2
G	8	12	14
H	3	2	2
I	17	20	19
圏外	20	22	21

全てのケースでD病院とI病院に救急患者が集中している。輪番制度を導入していないケース1と導入しているケース2, 3では、制度の導入によりD病院の負担を軽減しているが、G病院の負担を大きく増加させている。G病院は、医療圏内で唯一脳神経外科を常に当直させており、傷病程度に関係なく、脳血管疾患の症状を発症した救急患者が搬送されている。このような状態で輪番担当日には、他の症状の患者が優先的に搬送されてくるため、負担の増加につながっている。また、D病院と同様、救急患者が集中しているI病院については、輪番制度の導入によりさらに負担が増えている。これはI病院も医療圏内で唯一循環器科を常に当直させているので、傷病程度に関係なく心疾患の症状が発症した患者が搬送されてくる。そのような状態で担当日には他の症状の患者も優先的に搬送されるため負担が上がっている。

Table 8: シミュレーション結果④

病院	1人あたりの搬送時間		
	ケース1	ケース2	ケース3
A	6	12	8
B	4	9	9
C	11	10	11
D	9	11	9
E	5	9	8
F	4	13	10
G	6	10	8
H	5	10	10
I	8	13	10
圏外	35	35	35

また、1人あたりの搬送時間は、ケース1, 2, 3で大きな差は生じていない。これは、仮想二次医療圏1

に比べ、地域面積が狭く、各医療機関がまんべんなく均等に置かれているからだと考えられる。このように搬送時間に差がないことに加え、輪番制度を導入しても1日あたりの搬送割合が、制度を導入していない状態に近く、この地域ではほとんど機能しない制度であることが分かる。

7 まとめと今後の課題について

7.1 まとめ

本研究では、春日が構築した夜間救急医療システムのモデルを再構築し、二地域でシミュレーションを行った。現在ある医療資源の中で、救急搬送先に関する医療制度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、制度の評価を行った。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では、救急搬送時間が増加してしまい、医療機関を極端に優先としたケース3は受け入れられなかったが、ケース1, 2の救急搬送時間に大きな差は出ず、ケース2の状態では病院群輪番制度は双方にバランスのとれた制度であることが分かった。それに対し、仮想二次医療圏2では、救急搬送時間には大きな差はなかったが、ケース2, 3ともに医療機関に対し効果を発揮できていなかった。この地域に病院群輪番制度が適していないことを示しており、今後医療機関の負担を軽減する新たな制度の構築が必要である。

また、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ったので、モデルの妥当性の評価については行わなかった。

7.2 今後の課題

本研究では、住民に与える影響として搬送時間、医療機関に与える影響として搬送患者数を指標とし、病院群輪番制度の評価を行った。しかし、仮想二次医療圏両地域において圏外搬送の割合が高く、医療圏内で対応しきれっていないということが分かる。本研究では、三次救急医療機関への搬送を想定したが、これらの多くの救急患者は、重症ではないが専門医のいない傷病を発症した患者であった。圏外搬送患者を考慮したモデルの作成は今後の課題の1つである。

救急医療は、重症患者が入院可能かどうかを決める病床数、受診患者の治療時間、独歩受診の患者の影響も強く受ける。独歩受診患者が直接医療機関に受診しに来た場合、独歩受診患者の治療を行う時間によって救急車両による搬送患者の受入れを拒否するケースも考えられる。今後、地域医療モデルを構築する際に、これらの条件も考慮していかなければならない。

また、構築したモデルの妥当性の評価についても、

今後の重要な課題の1つと言える。シミュレーション結果と実際のデータを比較して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。しかし、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事で、現実性のあるモデル構築が可能になっていくと考える。

参考文献

- 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)春日雄翔：二次医療圏における夜間救急医療モデルの構築と医療サービスの評価・分析，東京工業大学知能システム科学専攻修士論文，（2013）
- 3)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）
- 4)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，47巻-3号，739/744，（2012）
- 5) SOARS：<http://www.soars.jp/>