

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06659

研究課題名（和文）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

研究課題名（英文）A Study on Regional Response Planning by Simulation of the Medical Institution Network

研究代表者

梶 淳夫（KAKEHI, ATSUKO）

工学院大学・建築学部（公私立大学の部局等）・教授

研究者番号：30370951

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、来院する患者に対して医療機関による医療サービス提供の可能性に関して、二次医療圏ごとにM/M/c待ち行列理論を用いて医療提供能力の比較を行った。その結果、二次医療圏すべての利用率の分散が最小化するような、いわゆる最適な二次医療圏を明らかにした。次に、この二次医療圏における分析を、患者発生率、移動時間の導入、病院種別により、最適化の修正などを行い、災害時における動的な状況下における分析を試みた。

さらに二次医療圏のシミュレーション分析から見出しうるネットワークの特徴および二次医療圏の個別シミュレーション結果に関して、その現実的な妥当性の検証を合わせて実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、医療機関による医療サービス提供能力をシミュレーションにより分析することにより、二次医療圏ごとの比較を行ない、最適な二次医療圏を明らかにすることができた。その上で、災害時における患者発生率、移動時間、病院種別を考慮に入れて、災害時における二次医療圏の最適化の分析を試みた。

平常時と災害時の医療圏のあり方について、検討するために一つの知見を得ることができたと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we will examine the potential for medical services to be provided by health care facilities to patients who come to the hospital, using M/M/c queueing theory to compare health care delivery capacity for each secondary medical area. As a result, we identified the optimal secondary care area where the variance in utilization of all secondary medical area was minimized. We next studied the optimization of secondary medical areas by patient incidence rate, travel time and hospital type.

Finally, the characteristics of the network that can be found from the simulation analysis of secondary medical areas and the results of individual simulations of secondary medical areas were also verified for their realistic validity.

研究分野：病院管理

キーワード：医療・福祉 シミュレーション 防災 ネットワーク

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

災害時の医療体制に関しては、災害対応という観点から、ライフラインや物流、情報システム、災害時医療チーム派遣などが最も重要なものであることは言うまでもないが、もう一つの重要な観点として災害地域に位置する医療機関の機能をどのように維持し、継続するかという課題がある。というのも昨今の大地震を鑑みるに、災害時の医療機関の機能喪失は、周辺の地域に深刻な影響を及ぼすのみならず、その後の復興過程において、医療機関が機能しうるかどうかということが、重要とされているからである。さらに、東日本大震災のケースでは、震災後、高齢者や慢性疾患を患う罹災者らの医療ニーズが急速に高まり、検査や薬の処方などを初めとする救急災害対応以外の多様な医療ニーズが生じたとされる。刻々と状況が変化する中においては、直接的な災害対応とは異なる機能をも変化に応じて担うことが求められる可能性が高いと言えた。

また医療機関が災害発生以降も医療機能を保持するために事業継続計画（**Business Continuity Planning**：以下 BCP）などを準備することの必要性が指摘されている。しかし災害時の状況はその規模や種類によって複雑に変化し、くわえて周辺の状況や条件にも大きく左右されることを考えると、医療機関単体の BCP を準備するだけでは十分ではなく、個々の医療機関がその周辺関連施設、行政、住民組織など、周辺地域全体を視座に入れた災害時地域医療事業継続マネジメントというべき計画が求められていると言える。

また災害発生後、一定期間は、罹災による傷病者の急増や機能を喪失する医療機関等があるため、被災を免れた、もしくは一部の被災で済んだ医療機関に、傷病者が集中することが考えられるが、復旧が進むにつれ、安定状態に移行すると考えられる。したがって医療機関と周辺地域や当該計画は、静的ではなく、動的な状態に対応しうるものでなければ実際には機能せず、意味がないものとならざるをえない。

さらに本研究においては、地域における医療機関、および関連する諸施設などをネットワークとして捉え、震災後の変化する状況下において、地域において医療機関の機能が維持され、さらにその機能を維持しうるためには、どのような対応が求められるかという点に関する基礎的知見を提示することを意図した。本研究に関連する先行知見においては、災害時における罹災者数およびそれによる搬送者数などのシミュレーションや、医療機関におけるトリアージ実践など、緊急時重症患者への対応能力などのシミュレーションなどは散見される場所であるが、本研究は、地域単位で関連施設、機関の繋がりから、医療機関の災害時における機能の変化をシミュレーションし、具体的な災害時における地域レベルの災害対応に寄与しうる基礎的知見を提示するという点で特色を持つものであったと言える。

そこで本研究は、単一施設ではなく地域という面的な広がりや災害発生後の状況変化という二つの視座から、医療機関を中心とした周辺の関連施設との繋がりを地域ネットワークとして表現し、災害時にこうした地域ネットワーク上の医療機関と他の周辺施設における繋がり度に関するシミュレーションを実施することを想定したものであった。医療機関を中心とした関連施設との地域ネットワークを表現することで、地域ネットワーク上の脆弱性を明確化することに加えて、繋がり度をシミュレーションすることで、どのような形で周辺関係機関との連携を保つべきかなど、緊急時における対応の優先順位付けを判断することを可能とする知見を提示するものであるとした。

2. 研究の目的

災害発生後においても医療機関がその機能を維持、確保しうるためには、地域単位で罹災者、傷病者らへの対応が必要となる。本研究の全体構想は、こうした地域対応をより有効なものとする災害時地域医療事業継続マネジメント計画の立案を可能とするための基盤構築を行うことにある。そこで本研究は、二次医療圏を単位とする地域において、医療機関を中心とした周辺の関連施設との繋がりを地域ネットワークとして表現することでその脆弱性を明確化し、繋がり度をシミュレーションすることで関係機関における連携といった緊急時の対応に関する判断を可能とする知見を提示することを目的とした。

また本研究の具体的な範囲としては、全国の二次医療圏ごとに、医療機関等の情報を収集し、それらの繋がりを閉鎖型待ち行列により地域ネットワークとして表現する。さらにこれらのネットワークにおける繋がり度をシミュレートすることにより、各ネットワークの脆弱性および頑強性レベルを明らかにし、くわえて医療機関の機能が維持、継続しうる具体的な状況を明らかにすることとした。

3. 研究の方法

本研究においては、当該シミュレーションを実施するために複数の市町村から構成される医療提供の基礎的な地理的範囲である二次医療圏を地域単位とし、この二次医療圏ごとに医療機関、高齢者介護施設、災害時医療救護所に関するデータ、二次医療圏を構成する各市町村の人口データなどの収集をまずは行う。全国の二次医療圏に関しては、都道府県の保健医療計画等において記載がなされているため、それらを収集し二次医療圏リストを作成した。

医療機関に関しては、二次医療圏ごとの医療機関等に関して、その所在地、病床数、医師数、診療科目数などの情報を収集する。災害拠点病院に関しては、各県の Web サイトなどの情報を用いて、全国の災害拠点病院のリストを作成した。

次いで収集したデータをパラメーターとして、シミュレーションを実施するためのシステムにデータベースとして入力を行う。本研究においては、重力モデルを適応して地域ネットワーク内の拠点（医療機関）間の推移確率を決定する。推移確率は右記の重力モデルに従って算出を行うこととした。

f_{ij} : 地域 i から地域 j への移動量
 p_i : 地域 i を出発地とする移動総量
 q_j : 地域 j を到着地とする移動総量
 d_{ij} : $i \cdot j$ 両地域間の距離
 C : 重力モデル正規化定数 0.145722117443322
 K : 拠点数

$$f_{ij} = C \frac{p_i^a q_j^b}{d_{ij}^c} \quad i \in K, j \in K$$

今回は $a=b=1$, $c=0.5$ で計算を行う。

ついで、医療機関の特性および規模、およびその所在地の地理情報を利用し、医療機関の利用度数をネットワーク内の傷病者としてとらえ、閉鎖型待ち行列ネットワークでモデル化を実施した。今回は二次医療圏という限定された地域の医療機関の均衡を表現する為にネットワーク内の移動だけを考慮した閉鎖型待ち行列ネットワークを用いて以下のモデル化を行った。具体的な作業としては、分析単位である二次医療圏において最初に拠点（医療機関）を選択し、ついでその拠

点の受入れうる傷病者数の上限や拠点数距離の情報から、重力モデルを用いて推移確率を決定する。そして閉鎖型待ち行列ネットワークで各拠点の平均待ち患者数を算出する。この平均待ち患者数を、その拠点において必要とされている量として検討を行った。

シミュレーションの結果に関しては、その妥当性および有用性に関して、類型化および個別検証という形で検証を実施した。類型化に関しては、二次医療圏におけるシミュレーション結果を包絡分析法（Data Envelopment Analysis）により類型化を試みた。さらにこうして類型化されたシミュレーション結果を個々の二次医療圏に当てはめることにより、医療機関などのネットワークの特徴の把握を試みた。

- i. 網内でサービスされる客のクラスは1種類である。
- ii. 網内には K 個の拠点数が存在する。
- iii. 網内の客の総数 N は有限で、拠点 k の客数を n_k とし $N = \sum_{k=1}^K n_k$ を満たす。
- iv. 拠点 k において、サービス時間はサービス率 μ_k の指数分布に従う。
- v. 拠点 k に網内から到着する客の全到着率は α_k 。
- vi. 拠点 i でサービスを受けた客は次の確率で拠点 j に移動する。

$$p_{ij} \quad (1 \leq i, j \leq K, p_{ij} \geq 0, \sum_{j=1}^K p_{ij} = 1)$$

4. 研究成果

本研究は、二次医療圏における医療提供能力の比較を、医療機関が来院する患者に対して医療サービスが提供可能かに関して、M/M/c 待ち行列理論を用いて分析を行った。その結果として、二次医療圏すべての利用率の分散が最小化するような、いわゆる最適な二次医療圏を提示することが可能となった。

ついで、この二次医療圏における分析を、患者発生率、移動時間の導入、病院種別の導入などにより、最適化の修正などを行うことにより、その精度を高めると同時に、災害時における動的な状況下における分析を試みた。具体的には、地域の医療提供能力を評価することを目的としてオペレーショナルリサーチ手法である包絡分析法（DEA）を用いて分析を行い、二次医療圏を統計的に評価した。DEA を用いた理由としては、DEA は平均的な評価ではなく、特徴量を評価することが可能であり、当該モデルにおいては、特徴量の抽出が必要となるためであった。

こうした検討から、限定されたデータにおいて実施したシミュレーションの意義は高いものの、実際の災害時における対応策を検討するためには、より現実に近い状況設定に基づくシミュレーションを行うことが必要ではないかという結論に至った。

具体的には、これまで実施した二次医療圏の分析においては、患者発生率、移動時間の導入、病院種別の導入、などのデータを一部補正した形で用いているが、これらのデータを補正值ではないデータに可能な限り置き換えるとともに、これらに加えてシミュレーションモデルをより現実的なものとするための、追加データを取得し、これらを加えた形でのシミュレーションモデルの再検討を実施した。

さらにはシミュレーションモデルの精緻化の作業のために、これまで解析に用いていたデータに加えて、新たなデータを追加するための取得諸手続きおよびデータの構築作業を実施し、当該二次医療圏のシミュレーション分析から見出しうるネットワークの特徴および当該二次医療圏の個別シミュレーション結果に関して、その現実的な妥当性の検証を合わせて実施した。

結論として二次医療圏を対象とした、医療機関からなる地域ネットワーク上の脆弱性を明確化するうえでは、災害におけるより実際の状況をシミュレーションするために、平時における静的な基礎データである、病院数、地域人口、医師数、65歳以上人口等に加えて、交通網や物流網のデータや患者の重症度等を加えた形でシミュレーションを行うことができる、BCMP モデルや、エージェントベースドモデルにより、より複雑な現象への適応を行うことが求められると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shinya MIZUNO, Haruka OHBA, Atsuo KAKEHI, Yoshikazu FUJISAWA	4. 巻 Vol. 3, No. 1
2. 論文標題 Evaluation of the Medical Service Environment for a Second Medical Area Using Data Envelopment Analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本ソーシャルデータサイエンス学会論文誌	6. 最初と最後の頁 27-33
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Haruka Ohba, Shinya Mizuno
2. 発表標題 Proposal for ambulance nodes optimum arrangement at second medical area using M/G/c queue
3. 学会等名 APIEMS2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大場春佳, 水野信也, 藤澤由和, 筧 淳夫
2. 発表標題 災害時における二次医療圏でみた医療提供能力の比較
3. 学会等名 日本行動計量学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大場春佳, 水野信也, 藤澤由和, 筧淳夫
2. 発表標題 待ち行列を用いた災害時シミュレーションの一考察
3. 学会等名 日本オペレーション・リサーチ学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	石田 祐 (Ishida Yu) (20455554)	宮城大学・事業構想学群(部)・准教授 (21301)	
研究分担者	水野 信也 (Mizuno Shinya) (60714524)	静岡理科大学・情報学部・教授 (33803)	
研究分担者	藤澤 由和 (Fujisawa Yoshikazu) (70387330)	宮城大学・事業構想学群(部)・教授 (21301)	