

待ち行列モデルを用いた 救急救命搬送サービスの分析

澤井 友貴¹・片岡 源宗²・吉井 稔雄³・二神 透⁴

¹非会員 元愛媛大学学生 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

²正会員 東北大学助手 未来科学技術共同研究センター (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻青葉6-6)

E-mail:kataoka@niche.tohoku.ac.jp

³正会員 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

E-mail:yoshii@cee.ehime-u.ac.jp

⁴正会員 愛媛大学准教授 総合情報メディアセンター (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

E-mail:futagami.toru.mu@ehime-u.ac.jp

救急救命搬送サービスシステムは、傷病者を医療機関に搬送する行政サービスの一つである。同サービスが抱える課題の一つに、生産年齢人口の減少に伴う行政全体の予算縮小と、高齢人口の増加に伴う救急救命搬送需要の増加が予測されており、これらの変化に対応する必要がある。そのためには、将来の救急救命搬送需要を予測し、提供できるサービスレベルとその費用を取り扱える救急救命搬送サービスの評価手法が必要と考えられる。

本稿では、愛媛県松山市をケーススタディに、実際の搬送データを基に、将来の救急救命搬送需要を予測し、待ち行列理論を用いて簡便なサービスの評価を行った。

Key Words : emergency life-saving transfer

1. はじめに

予測される日本の将来の状況の一つとして、国立社会保障・人口問題研究所¹⁾は、今後総人口が減少する中で、老年人口が増加することを予測しており、人口構造の変化は、様々な社会システムに影響を及ぼすことは疑いの余地が無い。影響を受けるものの一つとして、傷病者を医療機関に搬送する救急救命搬送サービスシステム(以後「救急搬送サービス」とする)が挙げられる。

救急搬送サービスは、傷病者を速やかに医療機関へ搬送する行政サービスの一つであり、消防法に定められている。総務省消防庁²⁾によれば、救急搬送件数は、図-1に示すように、近年増加傾向にある。平成25年には救急救命搬送件数は全国で年間5,915,956件と過去最多を記録しており、今後高齢者人口の増加が見込まれており、更なる搬送件数の増加が予測される。総務省消防庁²⁾が平成22年に行った将来推計の結果によると、救急搬送件数は2030年頃にピークを迎え、平成22年に対して約11.5%増にあたる全国で年間6,086,065件に達することが見込まれている。なお予測値は平成23年5月に公表されたものであるが、平成27年の予測値より平成25年の実績値が大

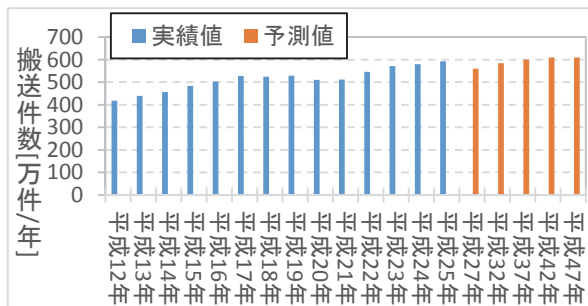


図-1 全国の救急救命搬送件数の推移

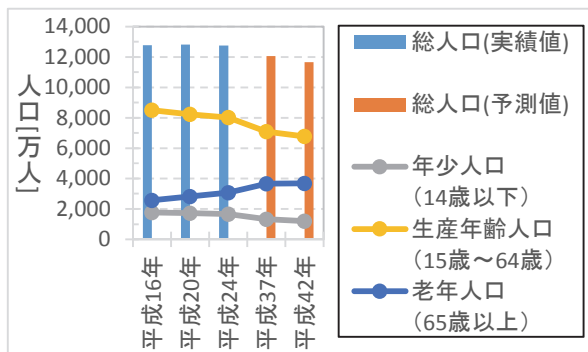


図-2 日本の総人口及び年齢別人口の推移

大きく、予測を上回るペースで増加している。これらの変化に伴い、救急搬送可能な救急車を待つ時間の発生、最寄り救急車出動中確率の増加、病院混雑率の増加、最寄り病院への搬送率の低下などが生じると予測でき、覚知から搬送を終えて消防署に帰署するまでの対応時間が増加すると考えられる。

一方、国立社会保障・人口問題研究所¹⁾によれば、日本では、図-2に示すように、今後総人口が減少する中で高齢者の人口は増加し、2042年にピークを迎え、その後徐々に減少すると予測されている。また、経済や税収を支える生産年齢人口は今後20年間で約20.7%の減少が予測されており、救急搬送サービスを提供する行政の予算全体が現在より縮小することが考えられる。このため、今後コストを制約条件としつつ、救急搬送サービスを提供していく必要がある。しかしながら、予算とサービスレベルの関係に基づいて今後の救急搬送サービスのあり方を検討するに至っていない。

そこで本研究では、人口の空間的分布や、救急車や病院の空間的配置や容量等にもとづいて、救急搬送サービスを定量的な評価をすることを目的とし、以下では救急車台数に焦点をあて、待ち行列理論を用いた救急搬送サービスの評価手法を構築する。また評価手法を松山市へ適応し、現在と将来の救急搬送サービス評価を行う。

2. 評価手法の検討

本研究では、救急救命搬送サービスの流れと搬送に要する時間を図-3のように定義した。

次に、本研究の背景である課題と対策案を整理した結果を図-4に記す。救急救命搬送需要の増加は活動時間及び収容所要時間の増加となり、救急搬送サービスの低下を招く。サービス向上を図る対策案の実施は、コスト面を考慮し、効果的な対策を実施する必要がある。そのため、救急搬送サービスの評価は、これらを俯瞰し、コストと効果を算定する必要がある。

本稿では、評価手法の第一歩として、待ち行列理論を用いて、需要とサービス時間からサービス効果を評価する簡便な評価手法を構築する。用

いた待ち行列モデルはM/M/Sモデルである。1つ目のMは1時間で発生する平均要請件数である要請件数発生レート λ 、2つ目のMは1時間あたりに1台の救急車が行える搬送の件数であるサービスレート μ 、Sは救急車の総台数である。これらにより搬送可能救急車待ち確率Eを算出し、その確率に年間搬送件数を乗ずることで、年間起こる搬送可能救急車待ち件数の期待値を算出した。なお使用する式は式(2a)～式(2e)のとおりである。また仮定した

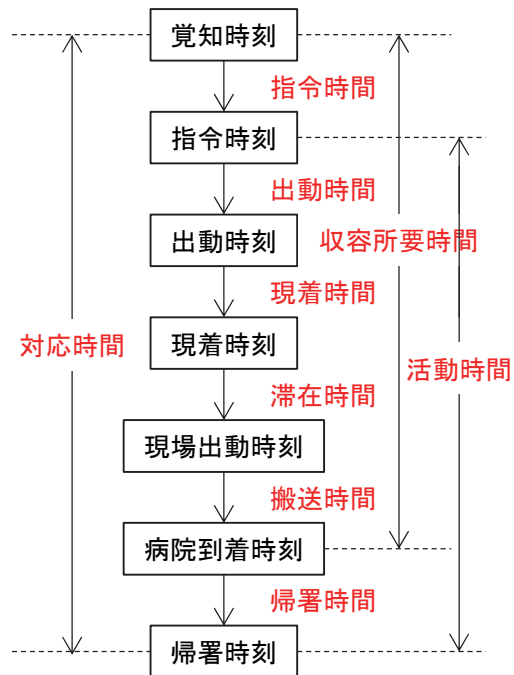


図3 救急救命搬送の流れと定義

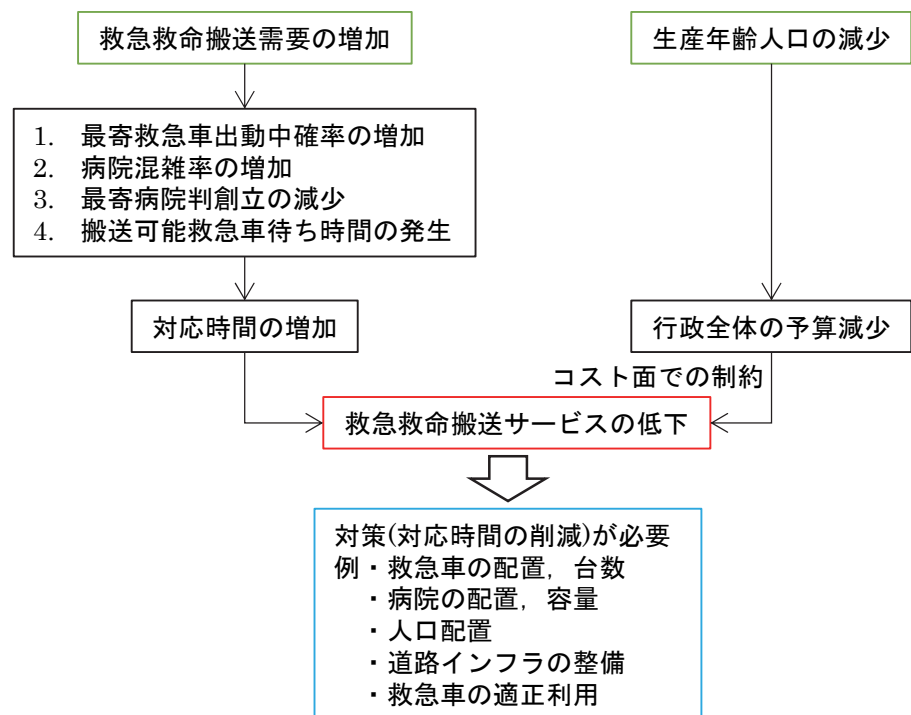


図4 救急救命搬送サービスの課題等の整理結果

条件は、松山市内に、消防署、病院が各1ヶ所であり、病院の容量は無制限である。

$$E = \sum_{n=s}^{\infty} Pn \quad (2a)$$

$$Pn = P0 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \cdot \frac{1}{n!} \quad (0 \leq n < s) \quad (2b)$$

$$Pn = P0 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \cdot \frac{1}{s! s^{n-s}} \quad (n \geq s) \quad (2c)$$

$$P0 = \left\{ \sum_{n=0}^{s-1} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} + \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^s \frac{1}{s!} \cdot \frac{1}{1-\rho} \right\}^{-1} \quad (2d)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (2e)$$

3. 評価手法の適用

(1) データ概要

用いたデータは、松山市における平成19年～平成24年まで117,059件の救急搬送実データである。救急搬送実データには、覚知年月日や覚知時刻、指令時刻、出動時刻、現着時刻、現発時刻、搬送時刻、帰署時刻とそれらに有する時間、また傷病名、傷病程度、搬送先病院等が記録されている。このうち本稿で分析に用いたデータは、覚知時刻と収容所要時間、帰署時間である。収容所要時間と、帰署時間を合わせたものを対応時間とし、対応時間を救急車が次の要請に対応できるまでの時間とした。6年間117,059件の平均値を現在の松山市の対応時間とし分析に使用した。また搬送件数を1時間あたりに換算したものを要請件数発生レートとして使用する。覚知時刻を午前7時から午後6時59分59秒までの昼間と、午後7時から午前6時59分59秒までの夜間に分類し、要請件数発生レートとサービスレートをそれぞれ使用した。データ概要を表-1及び表-2に記す。

(2) 松山市への適用

現在の松山市で救急搬送サービス評価を行いモデルの適合性検証を行った。使用した数値及び結果は表-3のとおりである。結果より、待つ確率は年間19,510件の要請があった場合に0.0005件の待ちが発生する結果であり、現状では待ちはまず発生しない結果を得た。この結果と

表-2 昼夜間別の松山市の救急救命搬送の概要

	昼間	夜間
年間搬送件数[件]	12,045	7,464
要請件数発生レート[件/時]	2.75	1.70
平均対応時間[分]	55.54	51.49
サービスレート[件/時]	1.08	1.17

表-3 松山市の現状評価結果

救急車台数 s[台]	14
要請件数発生レート λ [件/時]	2.23
サービスレート μ [件/時]	1.11
平均対応時間[分]	54.05
待つ確率 P	0.0000
待ち件数[件]	0.0005

表-4 松山市の現状昼夜別評価結果

	昼間	夜間
救急車台数 s[台]	14	14
要請件数発生レート λ [件/時]	2.75	1.70
サービスレート μ [件/時]	1.08	1.17
平均対応時間[分]	55.54	51.49
待つ確率 P	0.0000	0.0000
待ち件数[件]	0.0052	0.0000

現状実態より、待ち行列モデルを用いた簡便な評価が行えると判断した。

次にこの待ち行列モデルを用いて、現在の松山市における救急車台数別の評価を行った。使用したデータ及び結果は表-4のとおりである。結果より、昼夜間共に待つ確率は極めて低く、待ちが発生しない結果を得た。

続いて、将来の松山市における救急車台数別の評価を行った。使用したデータ及び結果を表-5に記す。なお将来の需要は、本研究グループが既往研究にて構築したモデルを用いたが、ここでは説明を省略する。結果より、サービスレートが現状と同じで、要請件数が増加し年間23,818年の要請がある場合でも、現状の救急車台数では1件も待ちが発生しない結果を得た。また救急車台数が11台に減少させた時、年間23,818件の要請があった場合は1件の待ちが発生する結果を得た。そのため松山市では救急車台数を12台まで減少可能と考えられる。

将来の松山市におけるサービスレート別評価を行った。使用データ及び結果は表-6のとおりである。要請件数発生レートは、松山市の30年後までの将来予測搬送件数で搬送件数が最大となった平成39年の2.72件/時間、救急車

表-1 松山市の救急救命搬送の概要

	H19	H20	H21	H22	H23	H24	平均
年間搬送件数[件]	18,791	18,356	18,634	19,868	20,275	21,133	19,510
要請件数発生レート[件/時]	2.14	2.10	2.13	2.27	2.31	2.41	2.23
平均対応時間[分]	52.28	53.38	53.58	54.81	54.64	54.95	53.94
サービスレート[件/時]	1.15	1.12	1.12	1.09	1.10	1.09	1.11

表-5 平成39年の松山市の救急車台数別の評価結果

救急車台数 s [台]	14	13	12	11
要請件数発生レート λ [件/時]	2.72	2.72	2.72	2.72
サービスレート μ [件/時]	1.11	1.11	1.11	1.11
平均対応時間 [分]	53.94	53.94	53.94	53.94
待つ確率 P	0.00000	0.00000	0.00001	0.00004
待ち件数 [件]	0.0066	0.0379	0.2010	0.9837

表-6 平成39年の松山市サービスレート別の評価結果

救急車台数 s [台]	14	14	14	14	14
要請件数発生レート λ [件/時]	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72
サービスレート μ [件/時]	1.11	1.00	0.89	0.78	0.67
平均対応時間 [分]	53.94	60.06	67.57	77.22	90.09
待つ確率 P	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00007
待ち件数 [件]	0.0066	0.0218	0.0797	0.3286	1.5571

台数は現状の14台とし、将来増加すると考えられる対応時間を増加、すなわちサービスレートを10%ずつ減少させ、評価を行った。結果より、救急車台数が現状と同じ14台で要請件数が増加した場合、現在のサービスレートでは年間23,818年の要請があった場合に、1件も待ちが発生しない結果を得た。またサービスレートが0.78つまり対応時間が77.22分では待ち件数は0.3286件と低い値であるが、サービスレートが0.67となれば、待ち件数が1件を超え、1.5571件発生する結果となった。

この結果から、松山市では救急車台数が現状の14台の場合、将来搬送件数が増加しても、対応時間はおおよそ80分まで増加しても待ちを発生させることなく、対応が可能である結果を得た。

4. おわりに

本稿では、待ち行列モデルを用いた、救急搬送サービスの評価手法について報告した。また松山市に適用し、試行評価を行った。発表会までに他の都市に適用し、松山市との比較結果を報告する予定である。

今後の課題は、本稿では対象地域内に病院、消防署が

1ヶ所であるという仮定のもと、救急搬送サービス効果の評価を行った。すなわち実際の立地や、交通状況道路ネットワーク等を考慮せず、データを平均化して分析を行った。そのため簡便な評価として、救急車待ちの有無や適正台数等の評価は行えたが、マクロな分析となったため、今後はミクロな分析を行うことが課題として挙げられる。

謝辞：松山市消防局より貴重なデータやコメントを頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口(平成24年1月推計), 2012.
- 2) 総務省消防庁：平成22年度救急業務高度化推進検討会報告書(平成23年5月), 2011.

(2015.4.24 受付)

ANALYSIS OF EMERGENCY LIFE-SAVING TRANSFER SERVICE USING QUEUEING THEORY

Tomoki SAWAI, Motomune KATAOKA, Toshio YOSHII and Toru FUTAGAMI