

日本における救急出動件数の将来推計
－広島県東広島市を事例に－

Future Projections of Emergency Dispatch Volumes in Japan

- An empirical study of Higashihiroshima City, Hiroshima Prefecture -

広島大学 先進理工系科学研究科

関西大学 社会安全学部

小田 凌也

福井 敬祐

Graduate School of Advanced Science and
Engineering, Hiroshima University

Graduate School of Safety Science, Kansai
University

Ryoya ODA

Keisuke FUKUI

東広島市消防局 消防総務課

秋田県立大学 システム科学技術学部

久保 浩二

稲川 敬介

Fire Department General Affairs Division,
Higashihiroshima City Fire Department

Faculty of Systems Science and Technology,
Akita Prefectural University

Koji KUBO

Keisuke INAKAWA

東京都立大学 都市環境科学研究科

小笠原 悠

Faculty of Urban Environmental Sciences,

Tokyo Metropolitan University

Yu OGASAWARA

SUMMARY

In fire and emergency service administration, forecasting future emergency dispatch volumes is essential for planning resource allocation and personnel deployment. However, in small to medium-sized cities with relatively low numbers of emergency dispatches, stable prediction using conventional methods is often difficult due to data sparsity. The purpose of this study is to develop and present a methodology for projecting future emergency dispatch volumes that is applicable to medium-sized cities. In this study, emergency dispatch counts are classified by incident type and by daytime and nighttime periods. We construct a small-area model that incorporates district-level random effects within a negative binomial regression framework, allowing for overdispersion.

【原著論文】

※本原稿は冊子体刊行前に掲載している印刷前原稿です。

Explanatory variables include population composition, the number of road intersections, facility counts, and the daytime population ratio. As an empirical application of the proposed method, we conduct a case study of Higashihiroshima City, Hiroshima Prefecture, using emergency incident data and future population projections obtained via the cohort-component method. The results demonstrate that the relationships between population structure, district characteristics, and emergency demand are consistent with existing findings. Moreover, the total number of emergency dispatches in Higashihiroshima City is projected to increase from the 2020s to around 2045. The proposed framework is applicable to other medium-sized cities and provides a practical analytical approach for future demand assessment in fire and emergency service administration.

Key words

Emergency demand, Medium-sized city, Negative binomial regression, Population projection

1. 背景

消防行政は住民の生命と財産を守るための基幹的な社会インフラであり、その安定的かつ効率的な運用は地域社会の安全保障に直結する。特に救急・救助活動は迅速な対応が生命の存否を左右することから、消防資源の最適な配置と運用が強く求められている。そのため、救急出動件数の将来的な動向を的確に把握し、科学的根拠に基づいて資源配分や人員計画を行うことは行政運営上の重要課題である。

令和6年消防白書 [1] によれば、令和5年中の全国救急出動件数は763万8,558件に達し、集計が開始された昭和38年以降で最多を記録した。特に高齢者は搬送頻度が高く、令和5年には全搬送件数の61.6%を占めている。近年我が国では少子化に伴う人口減少が進行する一方で、要介護高齢者の増加や単身高齢者世帯の拡大が進み、地域社会におけるリスク構造は大きく変容している。このような背景の下、救急出動件数の将来予測は限られた消防資源の下で効果的な体制整備を進めるために不可欠である。

これまで、全国レベルの統計分析や大都市圏を対象とした救急出動件数の予測に関する研究

は数多く報告されてきた [2-4]。しかし、これらの研究は神戸市や名古屋市など人口規模の大きな都市に主として焦点を当てており、中規模都市を対象とした実務的な研究は限られている。その背景には人口規模が比較的小さい地域では救急出動件数が少なく、従来の統計手法では安定的な数理モデリングが困難であるという技術的課題が存在する。加えて、中規模都市は高齢化の進行と都市構造の多様性を併せ持つことから、救急需要の地域差が顕在化しやすく実務的な知見の蓄積が特に求められている。また、先行研究 [4] では重回帰モデルが適用されているが、救急出動件数はカウントデータであることから分布特性を考慮したより適切なモデル化の余地がある。

そこで本研究では、統計学における負の二項回帰モデルを応用し、中規模都市にも適用可能な救急出動件数の将来推計手法を構築する。具体的には、広島県東広島市を対象として救急事案データおよび将来人口推計結果を用い、地域特性を考慮した救急出動件数の2023年から5年おきの2048年までの将来動向を分析する。本研究の成果は消防行政における政策決定を支援

する実践的なツールとして、地域防災計画や消防組織体制の検討に資する有用な示唆を提供することを目的とする。

2. 研究方法

2.1 対象地域の概要

本研究の分析対象地域である東広島市は広島県の中央部に位置する人口約 19 万人 [6] の中規模都市である。同市は学術研究都市としての都市機能を有する一方で、農山村地域を含むなど、多様な地域特性を併せ持っている。市域は広範であり、都市化の進展度、人口構成、土地利用形態には地区間で大きな差異がみられる。

東広島市は行政的に西条地区、八本松地区、黒瀬地区、志和地区、高屋地区、河内地区、安芸津地区、福富地区、豊栄地区の 9 地区に区分されている (図 1)。西条地区および高屋地区では、JR 山陽本線沿線を中心に市街地が形成されており人口集積度が高く、商業・業務・教育機能が集中している。八本松地区では、八本松スマートインターチェンジの設置予定などを背景として地区開発が進展している。

一方、福富地区、豊栄地区、河内地区などの北部・山間部では、農林業を主とする土地利用が多く、高齢化率が相対的に高い地域構造を有している。また、安芸津地区は瀬戸内海に面した沿岸部に位置し、港湾機能や水産業を含む独自の地域特性を持つ。黒瀬地区および志和地区は市街地と農村部が混在する中間的な性格を有しており、地区内においても人口密度や都市機能にばらつきが存在する。

このように東広島市は地区ごとに人口規模、年齢構成、都市構造が大きく異なっており、救急需要の発生構造にも空間的な不均一性が生じていると考えられる。そこで本研究では、これら 9 地区の区分を基礎的な圏域単位とし、218 地域から構成される 2020 年国勢調査 [5] にお

ける小地域 (町丁目) レベル (図 1) で、救急需要の分析および救急出動件数の将来推計を行う。



図 1 東広島市における 9 地区 (西条、八本松、黒瀬、志和、高屋、河内、安芸津、福富、豊栄) の区分図。黒線の区分は小地域 (町丁目) を示す。

2.2 データ

本研究では、2022 年から 2024 年にかけて広島県東広島市で発生した救急事案記録を用い、救急需要の空間分布の把握および救急出動件数の将来推計を行った。救急事案データは総務省消防庁が定める分類に準拠しており、事案の発生日時、発生地点、救急事案種別等を含む。これらのデータを小地域 (町丁目) 単位で集計し、国勢調査および住民基本台帳をもとに作成した小地域別人口データと統合した (将来人口推計の方法および結果は付録 A に示す)。

説明変数には、救急需要に影響を与え得る要因として、人口構成、交通環境、人口集積を代表する変数を選定した。具体的には、小地域別の高齢者割合 (65 歳以上人口割合)、若年者割

合（15歳未満人口比率）、道路交差数、施設数、昼間人口比を用いた。高齢者割合および若年者割合は年齢構成による疫病・事故リスクの差異を反映する変数であり、東広島市が公表する1歳階級別人口データ [6] から作成した。道路交差数は交通事故発生リスクの代理変数であり OpenStreetMap [7] から取得し、施設数は人の滞留や活動量を反映する変数であり東広島市消防局の通信指令業務用システムに登録された2024年6月時点のデータから取得した。昼間人口比は通勤・通学等による一時的な人口集積を表す変数であり、NTTドコモが提供する2024年5月時点のモバイル空間統計 [8] を用いて算出した。これらの変数は救急出動件数の空間分布を説明する上で重要と考えられる主要な要因を押さえつつ推計モデルへの過度な変数の追加を避けるようバランスを考慮して選定された。なお、道路交差数および施設数は基準化して分析に用いた。

救急需要の発生構造を詳細に捉えるため、救急出動件数は交通事故による搬送、一般負傷・病気等による搬送、および病院間搬送等のその他理由による搬送の3区分に分類した。さらに、事案発生時刻を昼（8:00-17:59）と夜（18:00-7:59）の2区分に分類した。以上より、交通事故（昼）、交通事故（夜）、一般負傷・病気等（昼）、一般負傷・病気等（夜）、その他（昼）、その他（夜）の6分類に基づいて救急事案を集計し、推計モデルに用いる統計データを作成した。

2.3 救急出動件数の推計モデル

小地域を分析単位とした統計分析においてはカウントデータである救急出動件数の分散が平均を上回る過分散性が生じる恐れがある。そこで本研究では、事案種別が交通事故及び一般負傷・病気等の救急出動件数に対して負の二項回帰モデル（Negative Binomial Regression Model）

[9] を用いた。また、2.1節で上述した通り、東広島市は地区ごとに特性が異なる。そこで地区に関する変数効果を導入することで、人口構成や都市構造では説明しきれない地区固有の救急需要特性を考慮した。小地域 i における救急出動件数 y_i は地区 ($j = 1, \dots, 9$) ごとの変数効果 α_j を持つ負の二項分布 $NB(\mu_i, \phi)$ に従うと仮定する。すなわち、 $y_i | \alpha_j \sim NB(\mu_i, \phi)$ とする。ここで本研究では、負の二項分布における平均 μ_i に以下のような回帰構造を仮定した。

$$\log \mu_i = \log(x_{i,0}) + \alpha_j + \beta_0 + \sum_{k=1}^7 \beta_k x_{i,k},$$

$$\alpha_j \sim N(0, \sigma^2)$$

ただし、 ϕ は負の二項分布における過分散パラメータであり、

$$E[y_i | \alpha_j] = \mu_i, \quad \text{Var}[y_i | \alpha_j] = \mu_i(1 + \phi)$$

を満たす。また、固定効果である $x_{i,1}$ から $x_{i,7}$ はそれぞれ小地域 i における高齢者割合、若年者割合、道路交差数、施設数、昼間人口比マルチダミー（昼間人口比を分位点で4分割）を表す。なお、 $x_{i,0}$ は小地域 i における人口であり、モデルの推定結果が人口に強く影響されることを防ぐためオフセット項として導入する。説明変数は事案種・昼夜別のモデルごとに固定効果の全ての組み合わせのうち AIC（Akaike Information Criterion）[10] を最小とする組み合わせを選択した。またその際、年によるばらつきを考慮するため、救急出動件数および人口は2022年から2024年の合計値を用い、昼間人口比、道路交差数、施設数は2024年時のものを用いた。説明変数間の多重共線性は、[11] によって提案された GVIF（Generalized Variance Inflation Factor）に基づく評価を行い、自由度補正後の指標である $GVIF^{1/(2 \cdot df)}$ を用いて確認した。モデルの説明力は、混合効果モデルの決定係数

(R^2) を用いて評価した。 R^2 は [12] による lognormal 近似に基づく固定効果のみの寄与を示す marginal R^2 (R_m^2) および固定効果と変量効果を含む conditional R^2 (R_c^2) を用いた。全ての分析は統計解析ソフトウェア R (version 4.5.0, [13]) を用い、負の二項回帰モデルの構築には glmmTMB (version 1.1.12) パッケージ [14], $\text{GVIF}^{1/(2 \cdot df)}$ の計算には car (version 3.1.3) パッケージ [15] を用いた。

なお、事案種別がその他の場合においては、事案発生が様々な要因によって引き起こされるため単一のモデルによる安定的な予測は難しい。そのため、現状の発生分布から将来も大きな変化がないという仮定をおき、2022 年から 2024 年の地区別の救急出動件数の合計値を人口の合計数で割った値に小地域別の将来推計人口に乘算することで小地域別の救急出動件数を算出した。

3. 分析結果

3.1 記述統計

表 1 は東広島市における各地区の人口規模および救急出動件数ならびに地区内の小地域に対する主要な説明変数について、2022 年から 2024 年の 3 年間の平均値を用いて 1 年当たりの記述統計量を示したものである。ただし、昼間人口比については 2024 年時点の値を用いた。表 1 より、地区間で人口規模、高齢者割合、施設数、道路交差数には大きなばらつきがみられることが分かる。特に、東広島市の中心部に位置する西条地区では救急出動件数が多い一方で、その他の地区では比較的少ない傾向が確認される。このような地区間差は救急需要が空間的に不均一であることを示している。また、5 つの説明変数に対する $\text{GVIF}^{1/(2 \cdot df)}$ の値は最大で 1.362 となり深刻な多重共線性は認められなかった。

3.2 モデル推定結果

表 2 は東広島市における交通事故および負傷・病気等の救急出動件数について、昼夜別に負の二項回帰モデルを推定した結果を示す。各モデルにおける過分散パラメータ ϕ は最小でも 1.82 であり、いずれのモデルにおいてもポアソン回帰モデルよりも過分散を考慮可能な負の二項回帰モデルが適していることが確認された。

交通事故に関するモデルでは、AIC に基づく変数選択の結果、昼夜ともに高齢者割合および施設数は選択されず道路交差数が選択された。

このことから、交通インフラが救急出動件数と関連している可能性が示された。また、若年者割合は昼夜ともに負の有意な効果を示し、若年層の割合が低い地域ほど救急出動件数が多い傾向が確認された。推定値は昼が -6.69 、夜が -7.37 であり、いずれも有意水準 5% で有意であった。道路交差数は昼の場合に有意な正の効果を示し、推定値は 0.11 であった。さらに、昼間人口比の第 4 分位点は昼夜いずれにおいても正の係数を示し、昼間人口比が大きい地域ほど救急出動件数が多い傾向がみられた。

負傷・病気等に関するモデルでは、AIC に基づく変数選択の結果、昼夜ともに道路交差数は選択されず施設数が選択された。この結果は、交通インフラよりも施設の集積度が救急出動件数と関連していることを示唆している。特に昼の場合には、高齢者割合が選択され、高齢者割合および施設数のいずれもが有意な正の効果を示した。高齢者割合の推定値は 0.85 、施設数の推定値は 0.07 であり、いずれも有意水準 5% で有意であった。一方、夜の場合には高齢者割合は選択されず昼と比較して高齢者割合が救急出動件数に与える影響は小さいことが示された。

決定係数は交通事故のモデルにおいて R_m^2 が 0.27 から 0.33 、 R_c^2 が 0.39 から 0.41 であった。負傷・病気等のモデルでは、 R_m^2 が 0.30

表 1 東広島市地区別の記述統計量の一覧

項目	八本松地区	安芸津地区	志和地区	河内地区	福富地区
小地域数	41	12	10	14	4
人口 (中央値[四分位範囲])	490.0 [328.0, 853.0]	0.0 [0.0, 689.8]	675.0 [328.0, 953.0]	277.5 [168.5, 358.8]	463.5 [406.2, 607.2]
高齢者割合 (中央値[四分位範囲])	0.2 [0.2, 0.3]	0.0 [0.0, 0.5]	0.4 [0.4, 0.5]	0.5 [0.1, 0.6]	0.4 [0.4, 0.5]
若年者割合 (中央値[四分位範囲])	0.1 [0.1, 0.2]	0.0 [0.0, 0.1]	0.1 [0.1, 0.1]	0.1 [0.0, 0.2]	0.1 [0.1, 0.1]
施設数 (中央値[四分位範囲])	5.0 [3.0, 11.0]	2.5 [0.0, 10.5]	23.5 [13.2, 26.0]	8.0 [0.2, 15.0]	22.5 [14.2, 34.8]
道路交差数 (中央値[四分位範囲])	24.0 [18.0, 60.0]	321.0 [206.0, 446.0]	240.0 [213.5, 257.2]	50.5 [25.2, 202.2]	315.5 [249.0, 394.0]
昼間人口比(件数(%))					
[0,0.0314)	1 (2.4)	9 (75.0)	4 (40.0)	7 (50.0)	4 (100.0)
[0.0314,0.0363)	19 (46.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
[0.0363,0.0437)	13 (31.7)	2 (16.7)	0 (0.0)	6 (42.9)	0 (0.0)
[0.0437,0.267]	8 (19.5)	1 (8.3)	6 (60.0)	1 (7.1)	0 (0.0)
救急出動件数 (事案種別)					
交通事故 (昼)	56	20	24	11	10
交通事故 (夜)	33	5	10	4	3
負傷・病気等 (昼)	494	298	212	162	82
負傷・病気等 (夜)	436	180	149	124	56
その他 (昼)	196	123	11	20	24
その他 (夜)	56	19	2	7	3
総件数	1271	645	408	328	178

項目	西条地区	豊栄地区	高屋地区	黒瀬地区
地域数	65	8	27	37
人口 (中央値[四分位範囲])	595.0 [254.0, 1301.0]	321.5 [203.0, 470.2]	847.0 [388.5, 1622.0]	558.0 [275.0, 868.0]
高齢者割合 (中央値[四分位範囲])	0.1 [0.1, 0.2]	0.5 [0.5, 0.5]	0.3 [0.2, 0.4]	0.3 [0.2, 0.4]
若年者割合 (中央値[四分位範囲])	0.1 [0.1, 0.2]	0.1 [0.1, 0.1]	0.1 [0.1, 0.1]	0.1 [0.1, 0.1]
施設数 (中央値[四分位範囲])	16.0 [6.0, 31.0]	14.0 [8.8, 37.5]	4.0 [2.0, 21.0]	7.0 [2.0, 15.0]
道路交差数 (中央値[四分位範囲])	100.0 [38.0, 182.0]	137.0 [41.0, 193.2]	89.0 [38.5, 175.0]	34.0 [23.0, 88.0]
昼間人口比(件数(%))				
[0,0.0314)	8 (12.3)	8 (100.0)	7 (25.9)	7 (18.9)
[0.0314,0.0363)	15 (23.1)	0 (0.0)	4 (14.8)	16 (43.2)
[0.0363,0.0437)	21 (32.3)	0 (0.0)	9 (33.3)	3 (8.1)
[0.0437,0.267]	21 (32.3)	0 (0.0)	7 (25.9)	11 (29.7)
救急出動件数 (事案種別)				
交通事故 (昼)	184	8	39	46
交通事故 (夜)	120	2	22	19
負傷・病気等 (昼)	1502	113	524	505
負傷・病気等 (夜)	1484	68	446	407
その他 (昼)	592	4	61	107
その他 (夜)	181	1	17	21
総件数	4063	196	1109	1105

から 0.43, R_c^2 が 0.32 から 0.43 であった。これらの結果から、固定効果に加えて変量効果を考慮することで、地域間のばらつきを概ね適切に説明できていることが確認された。ただし、負傷・病気等のモデルにおける昼の場合では、 R_m^2 と R_c^2 の差は 0.02 にとどまり、地域間ばらつきは相対的に小さいことが示された。

3.3 救急出動件数の将来推計結果

本研究で構築した推計モデルおよび将来人口推計結果を用いて、2023 年から 2048 年までの

救急出動件数を 5 年ごとに推計した。表 3 は東広島市全体における事案種別の救急出動件数の推計値を示したものである。表 3 より、東広島市全体では、いずれの事案種においても 2043 年頃まで救急出動件数が増加傾向を示すことが確認された。

図 2 は小地域ごとに推計した救急出動件数を地区、事案種、昼夜別に整理した結果を示している。図 2 より、東広島市の中心部に位置する西条地区では、昼夜を問わずすべての事案種において救急出動件数が最も多く、将来にわたつ

表 2 負の二項回帰モデルによる推定結果

説明変数	交通事故				負傷・病気等			
	昼		夜		昼		夜	
	推定値	p値	推定値	p値	推定値	p値	推定値	p値
切片	-5.52	<0.05	-6.36	<0.05	-3.79	<0.05	-3.77	<0.05
昼間人口割合 第1分位点(基準)	1.00	--	1.00	--	1.00	--	1.00	--
第2分位点	-0.08	0.67	0.08	0.74	0.03	0.74	0.08	0.37
第3分位点	-0.01	0.96	0.09	0.70	0.04	0.70	0.08	0.38
第4分位点	0.29	0.10	0.45	0.06	0.36	<0.05	0.08	<0.05
道路交差数	0.11	<0.05	0.08	0.07	--	--	--	--
若年者割合	-6.69	<0.05	-7.37	<0.05	-3.78	<0.05	-3.08	<0.05
高齢者割合	--	--	--	--	0.85	<0.05	--	--
施設数	--	--	--	--	0.07	<0.05	0.03	0.14
過分散パラメータ ϕ	2.97		1.82		9.23		5.88	
変数効果の標準偏差 σ	0.25		0.43		<0.01		0.06	
固定効果の決定係数 R_m^2	0.33		0.27		0.43		0.30	
固定+変数効果の決定係数 R_c^2	0.39		0.41		0.43		0.32	

表 3 東広島市全体における将来年次・事案種別の救急出動件数の推計値

項目	2023年	2028年	2033年	2038年	2043年	2048年
交通事故（昼）	413	470	524	556	567	568
交通事故（夜）	228	262	295	316	325	329
負傷・病気等（昼）	4,022	4,534	4,993	5,320	5,493	5,533
負傷・病気等（夜）	3,491	3,764	3,994	4,118	4,146	4,119
その他（昼）	1,202	1,244	1,276	1,295	1,300	1,293
その他（夜）	328	341	351	358	362	362
合計	9,684	10,615	11,433	11,964	12,193	12,205

て高い水準で推移することが分かる。一方でその他の地区では、西条地区ほど大きな変動はみられず、救急出動件数が緩やかに増加した後に減少する傾向もしくは緩やかに減少していく傾向が確認される。

図 3 は 2023 年における事案種および昼夜別に推計した救急出動件数を小地域ごとに集計した値について、その標準化残差のヒストグラムを示したものである。小地域ごとの標準化残差は、集計値と 2022 年から 2024 年までの実測値

の平均値の差分を、全小地域における実測値の標準偏差で除した値として定義される。図 3 より、多くの小地域で標準化残差は±0.5 の範囲に集中しており、集計値は実測値に概ね当てはまることが確認される。図 4 は 2028 年および 2048 年において推計された救急出動件数を小地域単位で集計したヒートマップを示している。図 4 より、西条地区周辺では救急出動件数が多い一方で、その他の中山間地域では救急出動件数が減少傾向または横ばいの比較的低い水準に

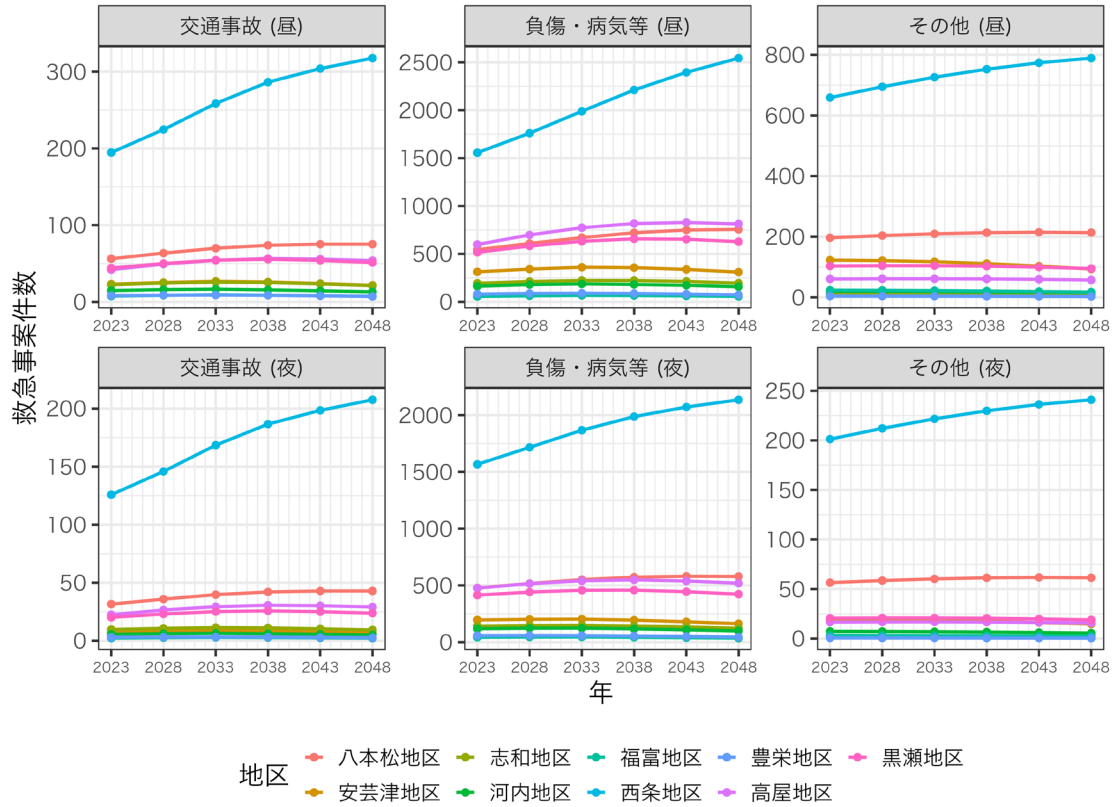


図 2 地区・事案種・昼夜別にみた救急出動件数の将来推計 (2023-2048 年)

図 3 2023 年における救急出動件数の標準化残差のヒストグラム

とどまる傾向が確認される。以上の結果から、将来の救急出動件数は空間的に不均一な変化が示唆された。

4. まとめ

本研究は中規模都市における救急出動件数の将来動向について、小地域単位で事案種および

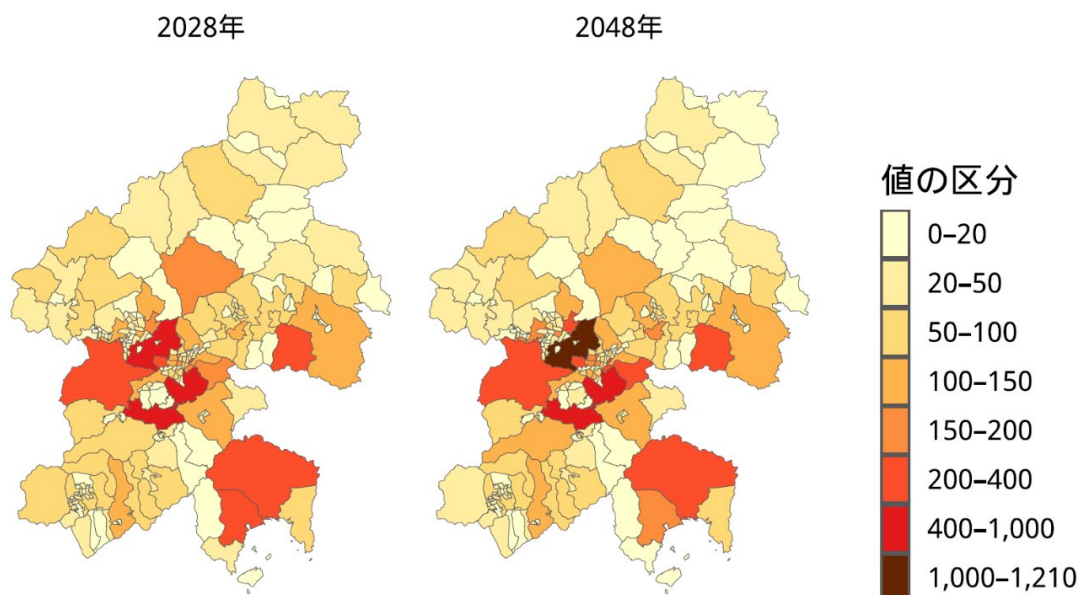


図 4 小地域別救急需要の空間分布 (2028 年予測値, 2048 年予測値)

昼夜別に統計モデルを構築し分析を行ったものである。東広島市を対象とした分析結果から、救急出動件数の増減は単なる人口規模の変化のみならず、人口構成の割合や都市インフラの特性によっても影響を受けることが明らかとなった。交通事故に関するモデルと負傷・病気等に関するモデルでは、AICに基づく変数選択の結果、選択される説明変数が異なっており、救急出動件数は事案種昼夜ごとに個別にモデル化する必要性が確認された。さらに、過分散パラメータの推定値や決定係数の結果から、中規模都市における救急出動件数の分析には地区間の違いを考慮した変量効果付き負の二項回帰モデルが適していることが示された。本研究で用いた説明変数はいずれも比較的容易に取得可能であり、本研究と同様の手法は東広島市以外の中規模都市における救急出動件数の分析にも適用可能である。

事案種昼夜別の推計モデルによって予測された救急出動件数を集計した結果、東広島市の中心部である西条地区では 2048 年に向けて救急

出動件数の増加が見込まれた。一方でその他の地区では、救急出動件数が減少もしくは横ばいで推移する傾向が確認された。これらの結果は東広島市において西条地区の救急出動リスクが相対的に高まる可能性を示している。このことから、将来的な救急資源配置の見直しが必要となることが示唆される。特に少子高齢化によって中心市街地に人口が集中する中規模都市においても同様の傾向がみられる可能性があり、状況の変化に応じた迅速かつ柔軟な資源配置体制の検討の余地があると考えられる。

将来の需要推計における重要な点として、一般には将来データが存在しないため将来の救急出動件数に対する予測精度を直接的に検証することは困難である。しかし、推計モデルの数理的妥当性および妥当な説明変数を選択することはより一層として重要と考えられる。本研究では、カウントデータの特徴を踏まえ、適切な回帰モデル（負の二項回帰モデル）を使用するとともに予測精度の観点からAICを用いて説明変数の選択を行った。また、救急出動件数は人口

構成のみならず交通環境や施設集積など複数の要因の影響を受けると考えられる。AICに基づく変数選択の結果、事案種昼夜別で異なる説明変数が選択されており、人口構成以外の要因が需要構造に影響していることが示唆された。将来予測においてこれらの変数を固定したとしても小地域ごとの特性をモデルに組み込むことで人口構成のみでは捉えられない小地域間の差異を反映することが可能である。さらに、[4]の推計モデルとの比較における本研究の特徴として以下の点が挙げられる。第一に、中規模都市における救急出動件数という少数のカウントデータに対して適切な回帰モデルを用いることで数理的に妥当な推計モデルを構築した点である。第二に、地区ごとの差異をランダム効果として導入することで従来モデルでは十分に考慮されていなかった地区間の異質性を明示的に表現した点である。以上より、本研究による推計モデルは数理的モデル特性および地域特性を考慮した推計モデルであると考えられる。

一方で本研究にはいくつかの課題が残されている。本研究における救急出動件数の将来推計では昼間人口比、道路交差数、施設数については2024年時点のデータを用いており、人口構成以外の説明変数については現状を維持した場合の推計結果となっている。そのため、交通量の長期的な変化、医療提供体制の再編、気候要因などの中長期的な社会変化や季節変動、感染症流行といった動的要因は考慮されていない。

また、将来人口推計は出生率、死亡率、移動率が将来にわたり一定であるという仮定に基づく点推定であるため、人口動態や医療体制に大きな変化が生じた場合には推計結果に不確実性が伴う可能性がある。今後は複数の将来シナリオを設定した感度分析や、時空間統計モデル、階層ベイズモデルなどを用いることで推計結果の頑健性を検証することが課題である。

以上より本研究では、東広島市における救急事案データを用い、小地域単位の人口特性および都市構造を考慮した負の二項回帰モデルを構築し将来の救急出動件数を推計した。本研究の成果は消防資源の効率的な再配置や地域防災計画の検討に資する科学的根拠を提供するものである。

謝辞

本研究を進めるにあたり、東広島市消防局の皆様には救急事案データの提供をはじめ実務的観点から貴重な助言を賜った。加えて、本研究は、市の社会課題と大学の研究シーズを結びつけ、共通の課題設定を通じて解決を図る「COMMONプロジェクト」(東広島市・広島大学 Town & Gown 構想の取組の1つ)を通じて、市が抱える社会課題を認知する機会を得、本研究の着想にも大きく寄与した。ここに記して深甚なる謝意を表す。また、研究全般にわたり有益なご意見をいただいた関係者各位に対し心より感謝申し上げます。関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

付録 A. 将来推計人口の算出方法

本研究における将来人口推計は東広島市を西条地区、八本松地区、黒瀬地区、志和地区、高屋地区、河内地区、安芸津地区、福富地区、豊栄地区の9地区に区分し、地区別にコホート要因法を適用することで実施した。得られた地区別将来人口は小地域(町丁目)単位へ配分することで将来人口データを作成した。

地区別人口推計にあたっては、2014年から2023年までの住民基本台帳データを用い、性別・5歳階級別人口を基礎データとした。純移動率(転入率から転出率を差し引いた値)および死亡率は2018年から2023年の住民基本台帳データから算出し、将来にわたり一定であると

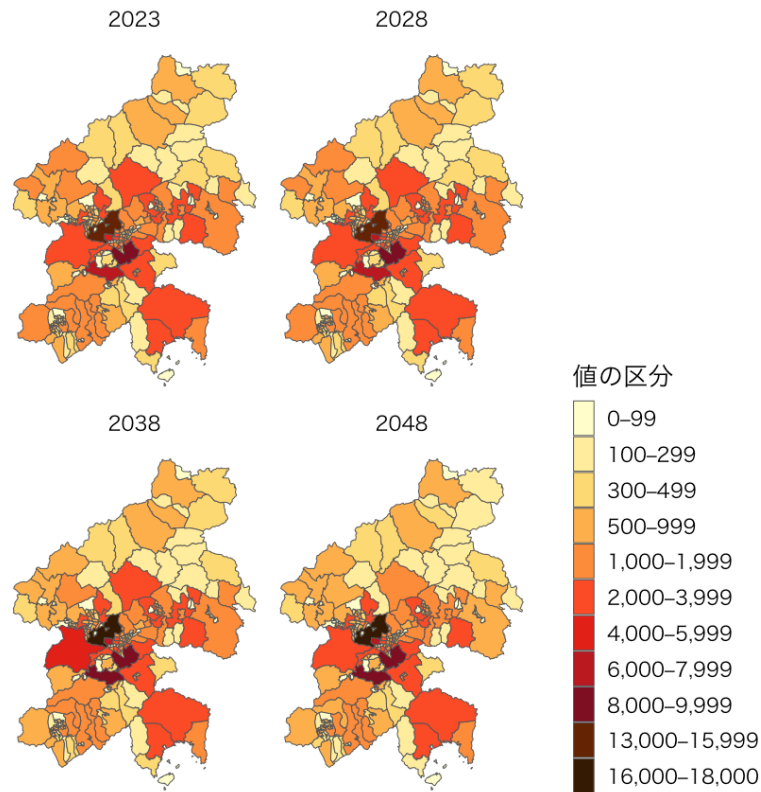


図 B.1 将来年次別人口の空間分布

仮定した。死亡率については、年齢階級別の変動を平準化するため人口をオフセット項としたポアソン型一般化加法モデルを用い年齢に対する死亡率をスプラインで平滑化処理した。出生率については、各地区における子ども女性比(0-4歳人口の男女合計を20-44歳女性人口で除した値)で代用し、将来にわたり一定と仮定した。新生児の男女比は105:100と設定した。

次に、地区レベルで推計した将来人口を小地域単位へ配分した。配分にあたっては、2022年から2024年の小地域別人口データを用い性別・5歳階級別人口の構成比を算出し各地区内における小地域の人口比率を求めた。推計の安定性を考慮し、95歳以上の人口は1つの年齢階級として集約した。また、小地域ごとの出生に関する指標として、20-44歳女性人口に対する出生割合を地区内比率として算出した。将来年次の

小地域別人口は上記で求めた人口比率を5歳階級ごとにスライドさせて地区別将来人口に適用することで算出した。この際、0-4歳階級人口については、性別ごとに出生割合を用いて配分した。さらに、この配分結果から小地域別の性別・5歳階級別人口比率(90歳以上は1階級)および出生割合を再計算し、次期年の人口配分に用いることで逐次的に小地域別将来人口を推計した。

なお、人口推計に必要な出生・死亡・移動に関する情報は東広島市住民基本台帳データから算出し、人口の分母情報については東広島市が公表する人口統計資料を用いた。

付録B. 補足資料

B.1 将来人口の空間分布

コホート要因法により推計した将来人口の結

表 B.2 将来年次別・地区別人口推計結果

地区	2023年	2028年	2033年	2038年	2043年	2048年
八本松地区	29,765	30,877	31,752	32,340	32,541	32,354
安芸津地区	8,702	8,578	8,327	7,887	7,302	6,622
志和地区	6,209	6,140	6,008	5,750	5,400	4,947
河内地区	5,315	5,231	5,056	4,774	4,433	4,051
福富地区	2,207	2,156	2,072	1,947	1,786	1,614
西条地区	82,971	87,453	91,411	94,752	97,426	99,342
豊栄地区	2,896	2,833	2,714	2,525	2,297	2,053
高屋地区	29,832	30,151	30,201	29,910	29,253	28,158
黒瀬地区	21,838	22,056	22,050	21,731	21,058	20,025
東広島市全体	189,735	195,475	199,590	201,617	201,497	199,165

果について小地域（町丁目）単位の空間分布を図 B.1 に示す。

B.2 地区別将来人口

コホート要因法により推計した東広島市9地区における将来年次別人口の推計結果を表 B.2 に示す。

参考文献

- [1] 総務省消防庁. 令和6年版 消防白書
<https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/r6/report4/68081.html> (2026年2月9日確認)
- [2] 金田真輝, 陳思楠, 中村匡秀, 佐伯幸郎 (2023). 大規模救急データと年代別人口推計データに基づく長期的救急需要予測手法の提案 一般社団法人 電子情報通信学会 信学技報 pp. 59-65.
- [3] 金田真輝, 陳思楠, 中村匡秀, 佐伯幸郎 (2024). 大規模救急データと地域メッシュ人口推計データに基づく長期的救急需要の細粒度予測 一般社団法人 電子情報通信学会 信学技報 pp. 1-6.
- [4] 三浦英俊 (2016). 重回帰分析による名古屋市の救急出動件数の将来予測 南山大学紀要『アカデミア』理工学編 16号 pp. 1-6.
- [5] 総務省統計局. 令和2年国勢調査 人口等基本集計結果
<https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2020/kekka.html> (2026年2月9日確認)
- [6] 東広島市. 人口・世帯数
<https://www.city.higashihiroshima.lg.jp/shisei/tokeijoho/1/index.html> (2026年2月9日確認)
- [7] OpenStreetMap contributors. OpenStreetMap
<https://www.openstreetmap.org/> (2026年2月9日確認)
- [8] NTTドコモ. モバイル空間統計
https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/ (2026年2月9日確認)
- [9] Hilbe, J. M. (2011). *Negative Binomial Regression* (2nd ed.). Cambridge University Press.

【原著論文】

※本原稿は冊子体刊行前に掲載している印刷前原稿です。

- [10] Akaike, H. (1974). *A new look at the statistical model identification*. IEEE Transactions on Automatic Control, 19, pp. 716-723.
- [11] Fox, J. & Monette, G. (1992). *Generalized collinearity diagnostics*. Journal of the American Statistical Association, 87, pp. 178-183.
- [12] Nakagawa, S. & Schielzeth, H. (2013). *A general and simple method for obtaining R² from generalized linear mixed-effects models*. Methods in Ecology and Evolution, 4, pp.133–142.
- [13] R Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2024.
<https://www.R-project.org/> (2026年2月9日確認)
- [14] Brooks, M. E., Kristensen, K., van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Maechler, M., & Bolker, B. M. (2017). *glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling*. The R Journal, 9, pp.378-400.
- [15] Fox, J. & Weisberg, S. (2018). *An R companion to applied regression*. Sage publications.

(原稿受付日 : 2026年2月19日)

(掲載決定日 : 2026年4月30日)