

# 救急需要予測に基づく救急車の最適配置に 関する基礎研究

## 報告書

2023年3月

公立大学法人 札幌市立大学



## 研究の概要

研究名称：

救急需要予測に基づく救急車の最適配置に関する基礎研究

研究目的及び内容：

札幌市の救急需要の実績データ、気象等の救急搬送に関係すると考えられるデータを集積する。その上で、AI（ニューラルネットワーク）分析を行い、札幌市の救急搬送予測精度が高くなるようなニューラルネットワークモデル構造と適切な説明変数となるデータ種類を明らかにし、札幌市の救急需要の将来予測が可能なAIモデルを構築する。

委託者名：

札幌市消防局

研究期間： 契約締結日から 令和5年3月31日まで

研究代表者：

公立大学法人札幌市立大学 AIT センター 教授 高橋 尚人

## 1. はじめに

消防機関の行う救急業務は、昭和 38 年に法制化されて以来、我が国の社会経済活動の進展に伴って年々その体制が整備され、国民の生命・身体を守る上で不可欠な業務として定着している。

札幌市においては、昭和 33 年より救急業務を開始しているが、救急出動件数・搬送人員ともに年々増加している。令和 2 年には新型コロナウイルス感染症の流行の影響と考えられる救急出動件数・搬送人員の減が見られたが、令和 3 年には再び増加に転じている。将来的には、札幌市では人口減少、少子化・高齢化の進展が予測されているが、このような人口構造の変化等により救急出動件数や搬送人員にも変化が生じると予測できる。そして、救急搬送の将来が予測できれば、長期的な視点で救急搬送業務に携わる人員や救急車両等のリソースの適正な配分検討など、救急業務の将来的なあり方を検討する上で有用な検討材料となると考えられる。

本研究は、札幌市の救急需要の実績データ、気象等の救急搬送に関係すると考えられるデータを集積する。その上で、AI（ニューラルネットワーク）分析を行い、札幌市の救急搬送予測精度が高くなるようなニューラルネットワークモデル構造と適切な説明変数となるデータ種類を明らかにし、札幌市の救急需要の将来予測が可能な AI モデルを構築する。

## 2. 札幌市の救急出動等の状況

札幌市の救急出動等の状況は、札幌市ウェブサイト[1]および札幌市の消防年報[2]に公表されている。本章では、これらの資料から抜粋して札幌市の救急出動等の状況を簡単に紹介する。

### (1) 救急出動件数および搬送人員の推移

平成 22（2010）年から令和 3（2021）年までの札幌市の救急出動件数および搬送人員の推移を図 1 に示す。

令和 3 年中の救急出動件数は 97,852 件で、前年より 7,069 件増加した。また、令和 3 年中の搬送人員は 81,973 人で、前年より 4,689 人増加した。ちなみに、令和 2（2020）年中の救急出動件数は 90,783 件で前年比 11,526 件減少し、搬送人員は 77,284 人で前年比 11,614 人減少した。令和 2 年中の救急出動件数および搬

送人員は平成 21（2009）年以降初めて前年より減少したが、令和 3 年は再び増加に転じた。

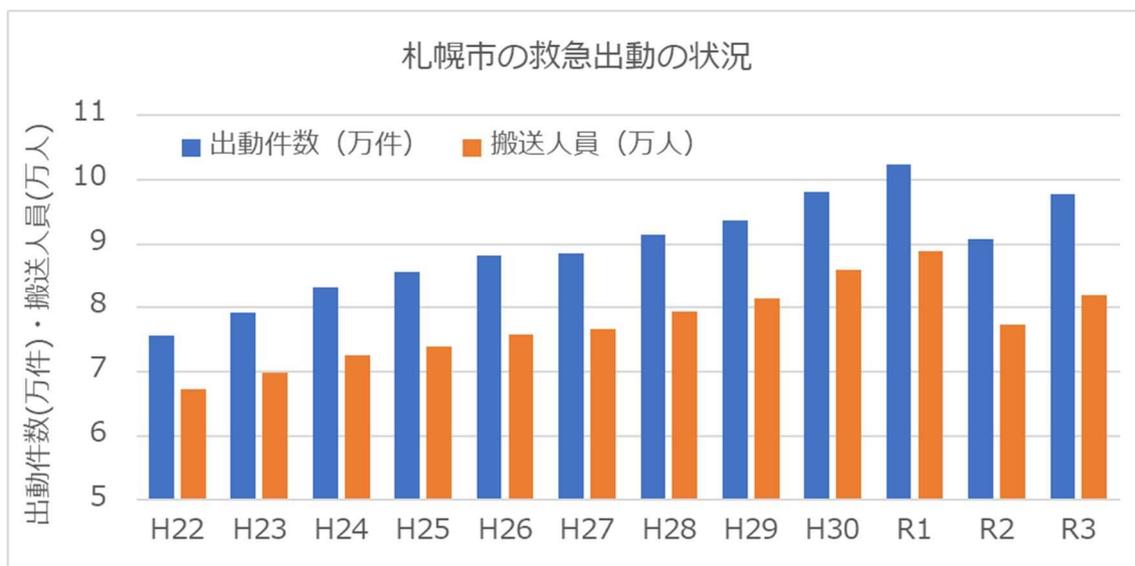


図 1 札幌市の救急出動の状況[1]

(新型コロナウイルス感染症患者の移送に係る出動件数・搬送人員は除く)

札幌市の人口の影響を考慮し、昭和 34（1959）年から令和 3 年までの札幌市の人口 1 万人当たりの救急出動件数および搬送人員の推移を図 2 に示す。人口 1 万人当たりの出動件数・搬送人員ともに増加傾向にあることが分かる。

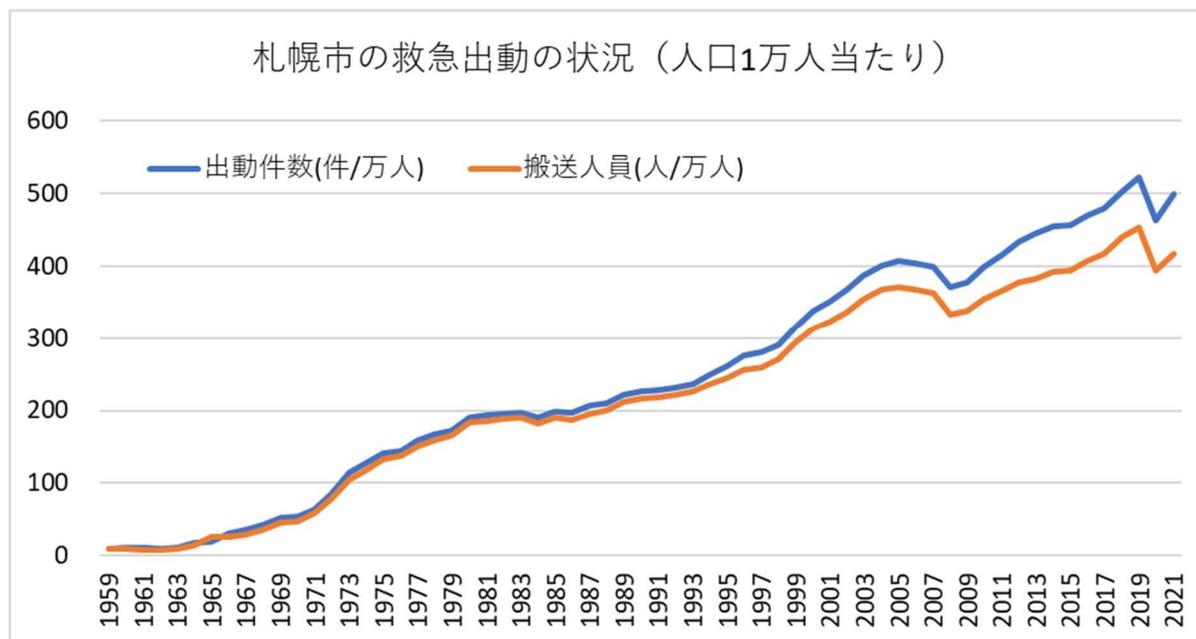


図 2 札幌市の人口 1 万人当たりの救急出動件数および搬送人員の推移[2]

救急出動件数・搬送人員が令和2年に減少し、令和3年に再び増加する傾向は、全国的に見ても同じである。

参考まで、全国の救急出動件数および搬送人員の推移を図3に示す。令和2年中の救急出動件数は、消防防災ヘリコプターによる件数も含め、593万5,694件（対前年比707,078件減、10.6%減）、搬送人員は529万5,727人（対前年比684,531人減、11.4%減）だった。令和3年中の救急出動件数は619万6,069件、搬送人員は549万3,658人で、それぞれ対前年比26万375件（4.4%）増、19万7,931人（3.7%）増となっている

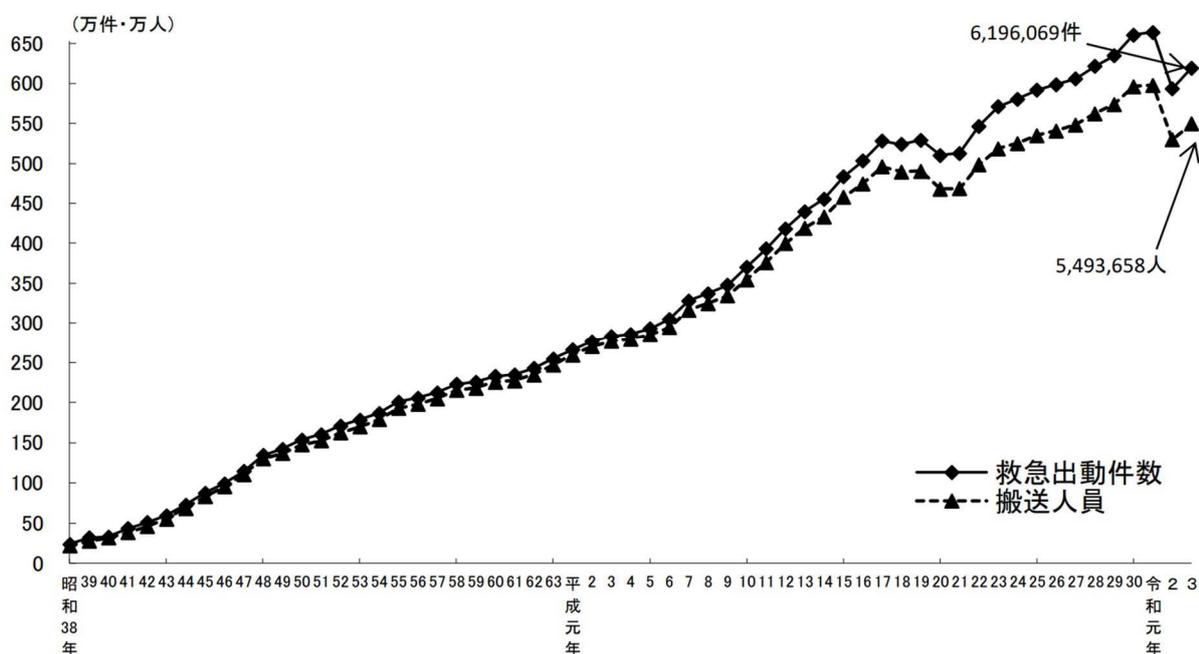


図3 全国の救急出動件数および搬送人員の推移[3]

人口1万人当たりの救急出動件数を比較すると、令和2年は、日本全国では470.5件、札幌市では462.8件であり、令和3年は、日本全国では491.2件、札幌市では498.8件だった。

## (2)札幌市の令和3年の救急出動件数の内訳

札幌市の令和3年の救急出動件数の内訳について、札幌市の公表資料から抜粋して紹介する。

### ①行政区別の出動件数

図4に、令和3年の行政区別の出動件数を示す。中央区の出動件数が最も多く、次いで北区、東区となっている。行政区別人口では、北区が最も人口が多く、次いで東区、中央区の順になっているが(表1)、中央区の出動件数が最も多いのは、通勤・通学・買い物等で中央区を訪れる人が多いためと考えられる。

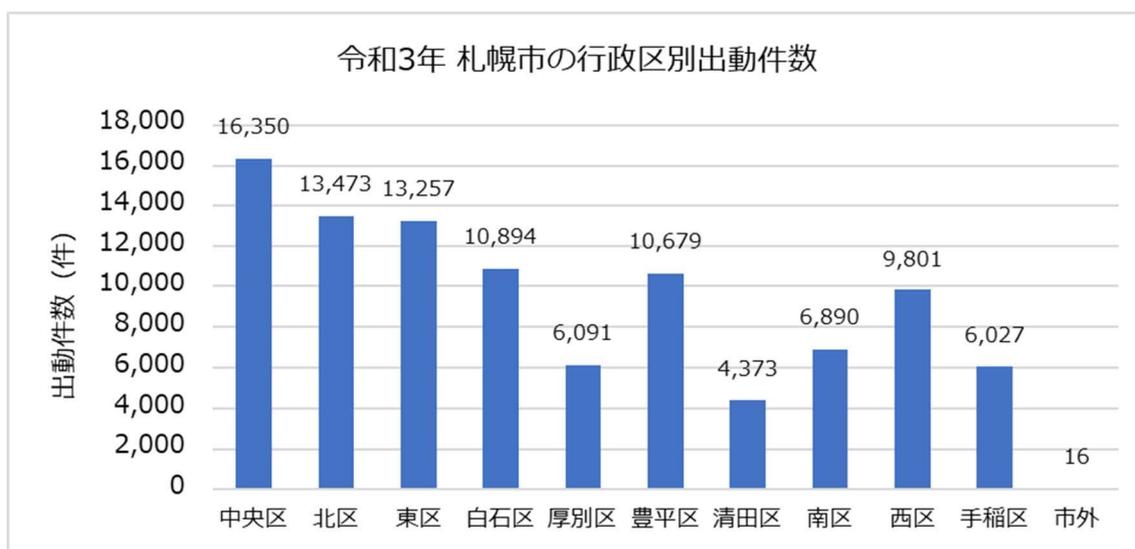


図4 令和3年 札幌市の行政区別救急出動件数 [1]

表1 札幌市の行政区別の人口等 (令和4年4月1日現在) [1]

(令和4年4月1日現在)

消防署	管轄区域	総面積 (k m <sup>2</sup> )	世帯	人口
<b>総数</b>	<b>—</b>	<b>1,121.26</b>	<b>1,089,802</b>	<b>1,958,694</b>
中 央	中 央 区	46.42	148,789	241,656
北 東	北 東 区	63.57	154,470	284,889
	東 区	56.97	145,467	261,592
白 石	白 石 区	34.47	125,906	213,394
厚 別	厚 別 区	24.38	66,415	125,404
豊 平	豊 平 区	46.23	131,865	225,051
清 田	清 田 区	59.87	53,608	111,660
南 西	南 西 区	657.48	73,249	135,024
	西 区	75.10	118,998	218,334
手 稲	手 稲 区	56.77	71,035	141,690

## ②月別の出動件数

図5に、令和3年の月別の出動件数を示す。7月の出動件数が最も多く、次いで8月となっており、いずれも9千件を超える。12月の出動件数も8,900件台と出動が多い月となっている。



図5 令和3年 札幌市の月別救急出動件数 [1]

## ③曜日別の出動件数

図6に、令和3年の曜日別の出動件数を示す。火曜日の出動件数が最も多く、次いで土曜日の出動件数が多い。曜日別では、日曜日の出動件数が最も少ない。

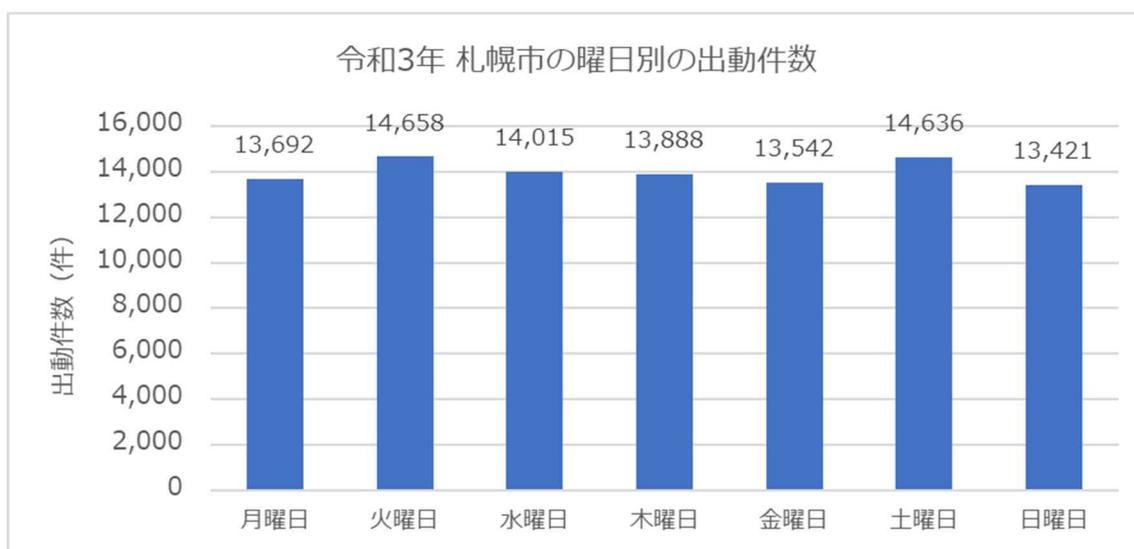


図6 令和3年 札幌市の月別救急出動件数 [1]

### (3)札幌市の令和3年の搬送人員の内訳

札幌市の令和3年の搬送人員の内訳について、札幌市の公表資料から抜粋して紹介する。

#### ①年齢層ごとの事故種別搬送人員

表2に、令和3年の年齢層ごとの事故種別搬送人員を示す。また、表2を100%積み上げ棒グラフにしたものを図7に示す。表2、図7の年齢層区分の定義は以下のとおり。

年齢層の区分の定義：

新生児：生後28日未満

乳幼児：生後28日以上7歳未満

少年：7歳以上18歳未満

成人：18歳以上65歳未満

高齢者1：65歳以上75歳未満

高齢者2：75歳以上85歳未満

高齢者3：85歳以上

年齢層別にみると、最も搬送人員が多いのは成人(満18歳以上満65歳未満)で、次いで高齢者3(満85歳以上)となっている。事故種別では、新生児は「その他」が最も多いが、新生児以外は急病による搬送が最も多くなっている。

表2 令和3年 札幌市の年齢層ごとの事故種別搬送人員[1]

区分	総数	急病	一般負傷	交通	自損	労災	加害	火災	運動	自然災害	水難	その他
新生児	307	28	2	0	0	0	0	0	0	0	0	277
乳幼児	3,294	2,234	785	74	0	0	0	0	2	0	0	199
少年	2,062	1,121	348	284	75	4	18	3	107	0	1	101
成人	29,168	20,460	2,915	1,934	774	532	171	41	94	0	0	2,247
高齢者1	12,657	8,743	1,952	343	56	95	20	10	4	0	3	1,431
高齢者2	16,379	11,195	3,121	241	43	10	16	10	2	1	0	1,740
高齢者3	18,106	12,115	4,144	80	14	1	12	5	0	0	0	1,735

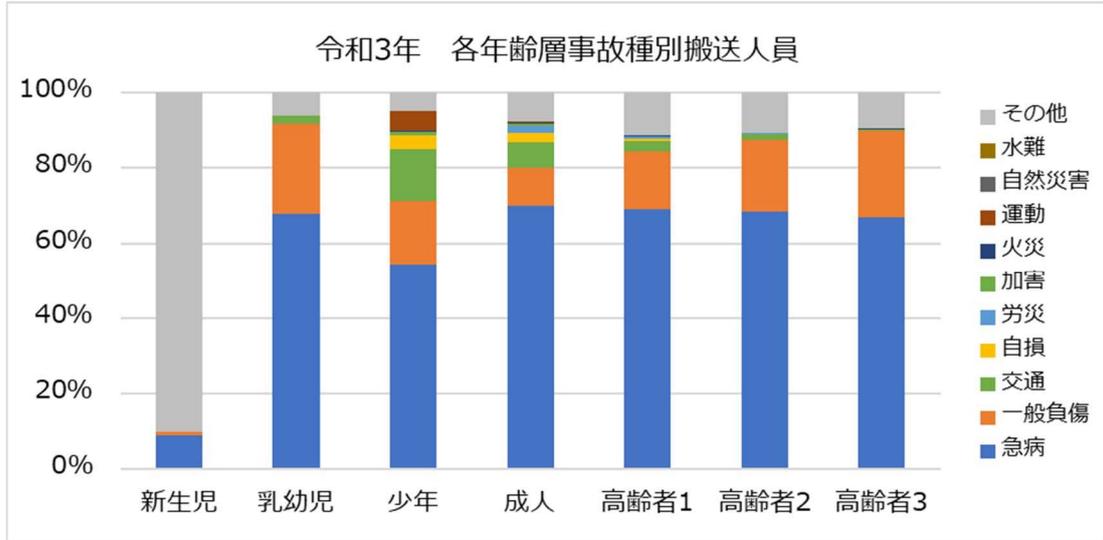


図7 令和3年 札幌市の年齢層ごとの事故種別搬送人員（100%積み上げ）[1]

### ①高齢者の搬送人員の推移

図8に、高齢者（65歳以上）の搬送人員の推移を示す。図中の折れ線は、搬送人員に占める高齢者の割合（高齢者搬送割合）を表している。

高齢者搬送割合は年々増加しており、平成25（2013）年に50%を超え、令和2年の高齢者搬送割合は58.5%となった。令和3年中の高齢者の搬送人員は増加したが、搬送割合は若干減少した。

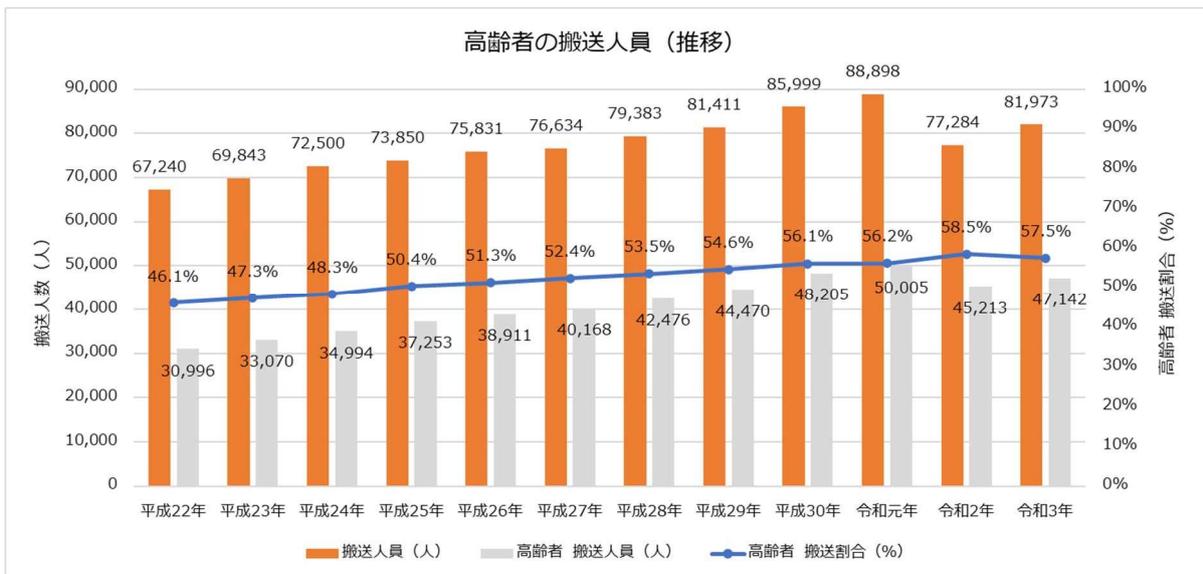


図8 札幌市の高齢者の搬送人員の推移[1]

### 3. 札幌市の救急出動等の将来予測

けがや急病による救急患者が発生した場合、手当等を行うまでの時間が救急患者の生存率や予後を左右する要因となる（図9）。病院で手当てを受ける場合、救急患者の搬送時間も重要な要素となるため、救急搬送時間と生存率の関係、救急搬送時間と自宅退院率の関係についての分析やモデル構築に関する研究も行われている（たとえば、[5]、[6]）。

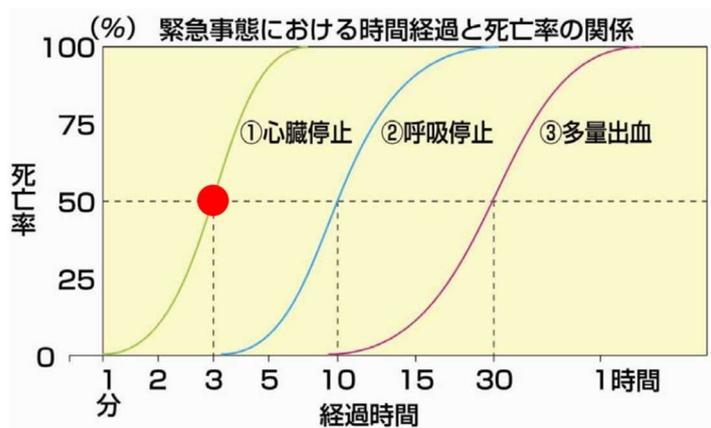


図9 カラーの救命曲線[4]

札幌市の救急出動等の現場到着時間等は延伸傾向にある（図10）。この傾向は、札幌に限ったことではなく、全国的に見ても同じである（図11）。

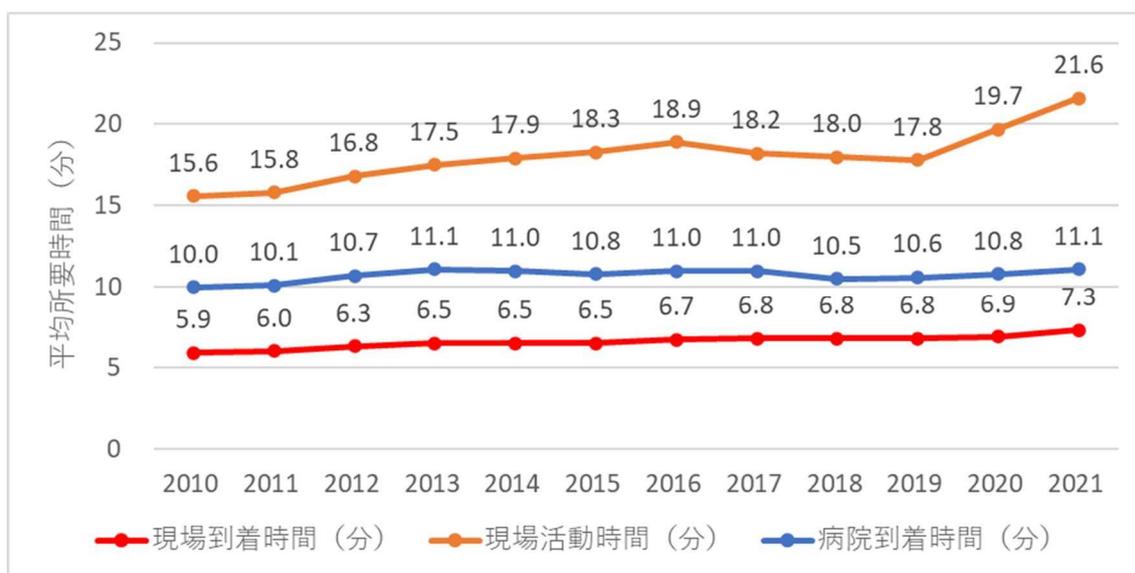
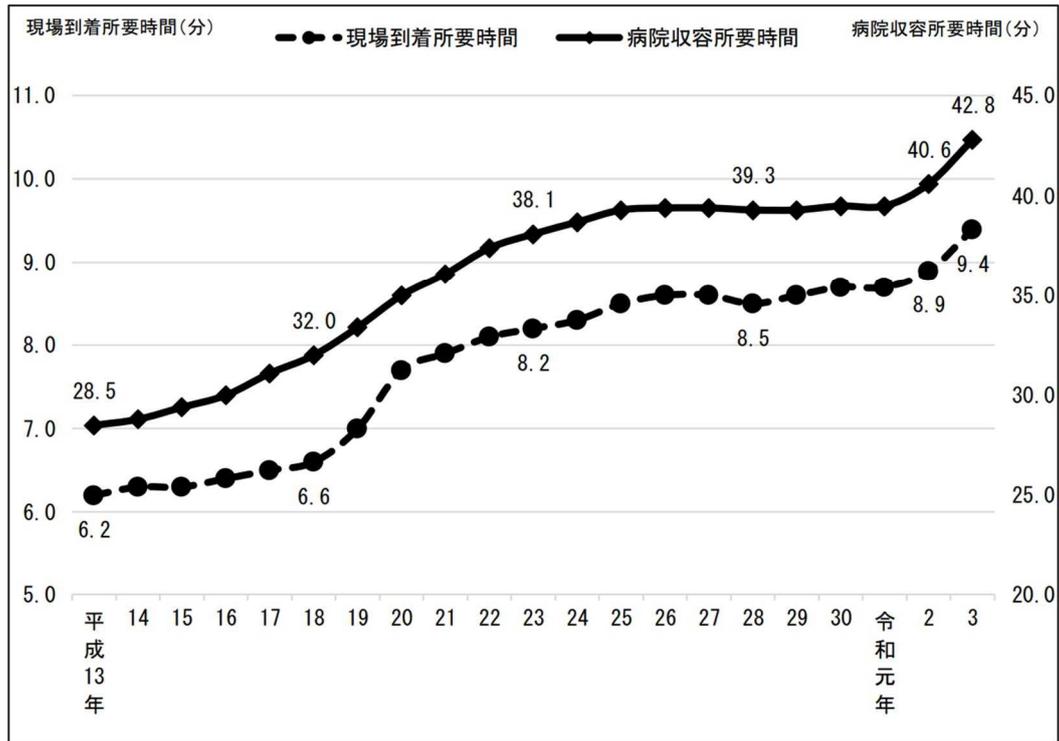


図10 札幌市の救急出動等に要する時間の推移[1]



(注) 東日本大震災の影響により、平成22年及び平成23年の釜石大槌地区行政事務組合消防本部及び陸前高田市消防本部のデータを除いた数値で集計している。

図11 現場到着所要時間および病院収容所要時間（全国平均）の推移[3]

現場到着時間等を短縮するため、ICTの活用（たとえば[7]）や救急部隊の運用方法の工夫（たとえば[8]）など様々な取り組みがなされている。

本研究では、将来的な人口の減少（図12）、少子化・高齢化（図13）といった札幌市の人口構造の変化による長期的な救急出動状況等の変化を予測するモデルの構築に取り組むことで、救急出動等に係る必要なリソースの予測や配分の検討に資することを旨とする。

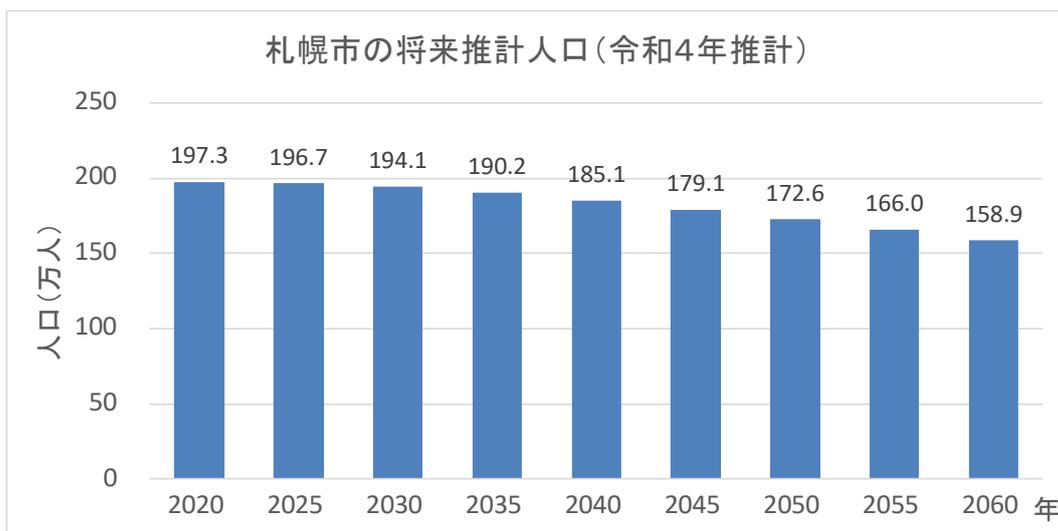


図 12 札幌市の将来推計人口(令和4年推計) [9]

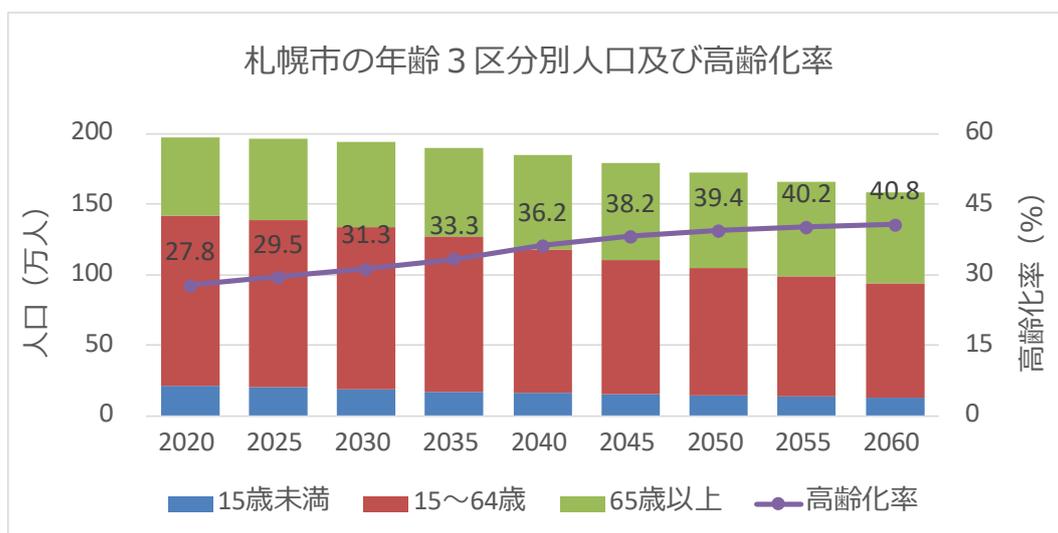


図 13 札幌市の年齢3区分別人口および高齢化率の将来推計[9]

## 4. 救急需要予測モデルの構築

### 4.1. 救急需要予測に関する研究のレビュー

救急出動等を予測することができれば、事前に救急隊の配置の最適化を図ったり、医療機関との受入調整を効率化できる可能性がある。

総務省消防庁消防大学校消防研究センター、NTT、NTT データは、救急ビッグデータをを用いた救急車運用高度化の共同研究を実施した[10]。当該共同研究では、救

急隊の最適配置、搬送先医療機関の受入可能性の予測などに取り組んだ。

日立は、XAI（Explainable AI：説明可能なAI）を用いた救急需要予測システムを構築した（図14）。当該システムでは、現場到着時間を予測したい日付や時間帯、隊配置を指定すると、1kmメッシュごとの事案件数、および現場到着時間をAIが予測して、ヒートマップで表示する（図15）。

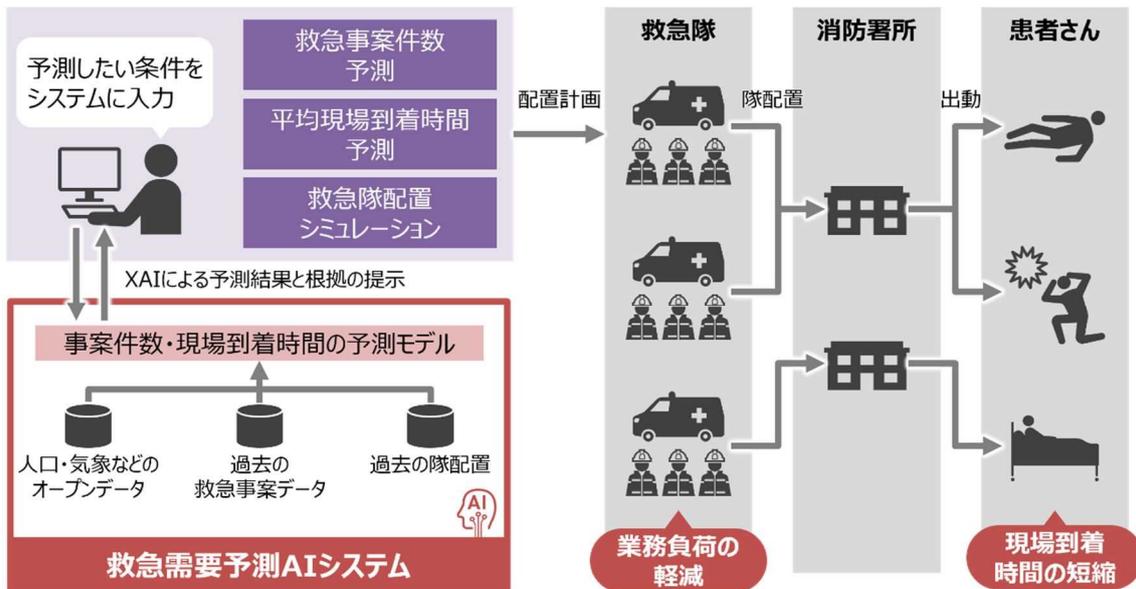


図14 救急需要予測AIシステム[11]

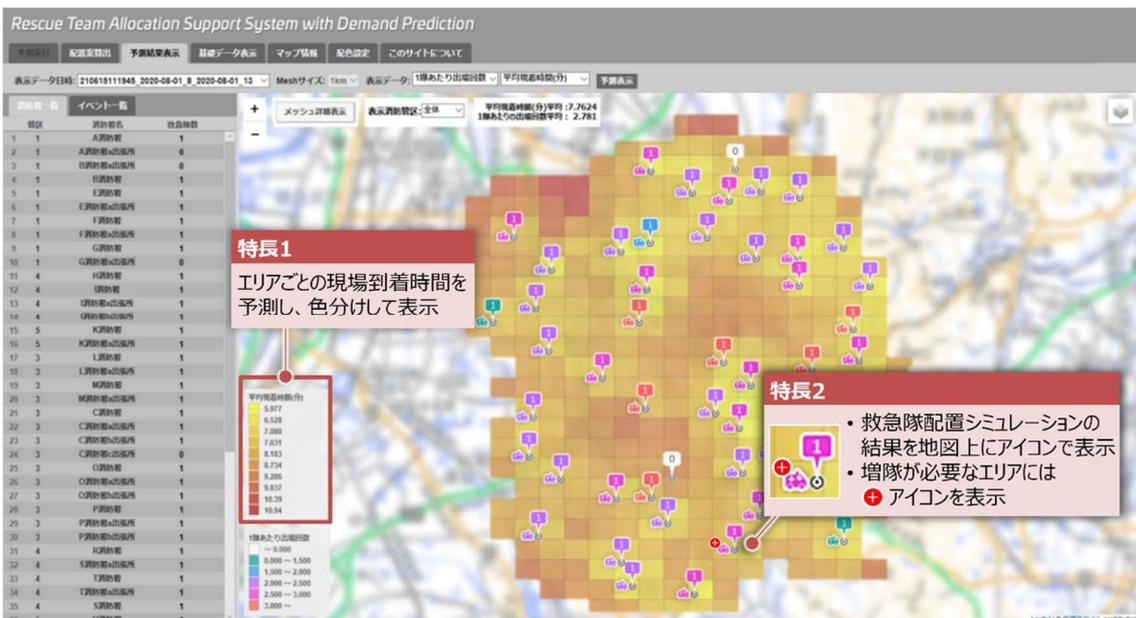
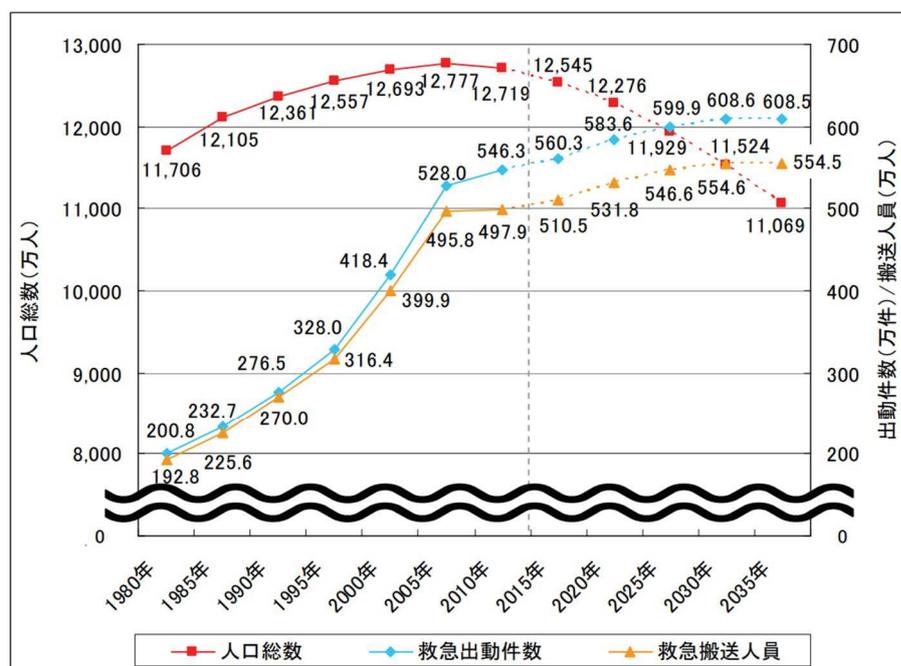


図15 現場到着時間予測ヒートマップ[11]

川崎市消防局では、現場到着時間を短縮するための方法として、救急要請が集中する地域を事前に予測し、当該地域付近の消防署や出張所にあらかじめ救急隊を手厚く配置しておくことを考えた。AI を活用した仕組み作りに向けて複数社と連携協定を締結して実証実験に取り組み[12]、千葉大発のスタートアップ「Smart119」に予測システム製作を委託した[13]。

ここまで紹介したのは、短期の救急需要予測の取り組みである。川崎市消防局にヒアリングをしたところ、救急隊の配置変更が可能な2日（48時間）先の救急需要の予測を目指しているということであった。本研究では、このような近い将来の救急需要ではなく、数年先、または、将来人口の推計のように20年先、30年先といったスパンでの救急需要の予測を目指している。

長期の救急需要予測に関しては、総務省消防庁が「平成22年度 救急業務高度化推進検討会」において救急需要の将来予測に取り組んだ[14]。日本全国の年齢階層別及び事故種別に、実績データより国民1人が1年間に救急搬送を利用する割合を算出し、この割合に将来の予測人口を乗じることで救急需要を推計した（図16）。



※人口総数の推計値は「日本の市区町村別将来推計人口（平成20年12月、社会保障・人口問題研究所）」を使用した。なお、2015年以降の将来推計は、救急搬送率と推計人口を用いて算出したものであり、今後の搬送率（救急車の利用率）の変化や社会情勢の変化等は考慮していない。

図16 人口総数と救急搬送活動の将来推計[15]

総務省消防庁の推計方法は、日本全国の日単位の予測は可能であるが、救急需要の時間変動や地区単位の需要予測は行えない。片岡ら[16]は、将来の救急搬送件数は、各年齢層の人口によって変化すると考え、また、将来においても救急搬送の発生時間と病状は現状と変わらないと仮定し、発生時間および病状は実データに基づき案分する方法によるモデル化を考えた（図 17）。

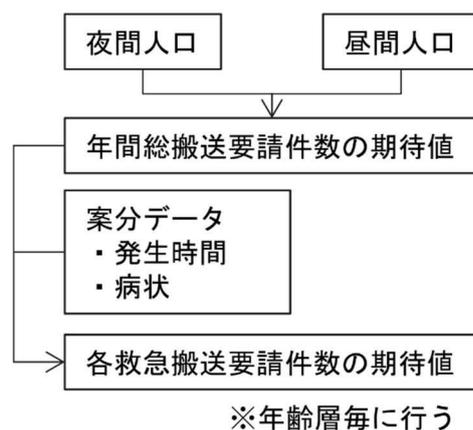


図 17 救急搬送要請件数算定の手順[16]

横浜市消防局では、年々増え続ける救急需要に対応するため、将来の救急需要予測（救急出場件数）について横浜市立大学との共同研究に取り組んだ[17]。研究では、横浜市消防局の保有する 15 年間分の救急搬送記録と、以下の要因を用いて救急出場件数／日のモデルを構築した。

- ・ 人口動態（横浜市の 50 歳以上の人口※、日中の流入人口、外国人観光客数など） ※60 歳以上の人口、70 歳以上の人口なども検討した。
- ・ 気象（平均気温、前日との気温差、日照時間など）
- ・ 暦（月、連休後の平日など）
- ・ その他の救急関連情報（#7119 利用率、救急車適正利用広報費など）

モデル化は、件数／日を目的変数、上記の要因候補を説明変数とする重回帰分析を行った、予測の期間は 2030 年までで、予測の結果、横浜市の人口は 2019 年をピークに人口減少期に入るものの、高齢者の救急搬送は増加傾向で、2030 年の救急出場件数は 24 万件超（2015 年の 1.36 倍）に達する見込みとなった（図 18）。

行政区別の予測では、全ての行政区において救急出場件数が増加を続けるが、10

年以上救急出場の最高件数を記録してきた中区を、区内人口が多く高齢化率の高い複数の区（戸塚区、港北区、鶴見区）が追い越す見込みとなった（図 19）。

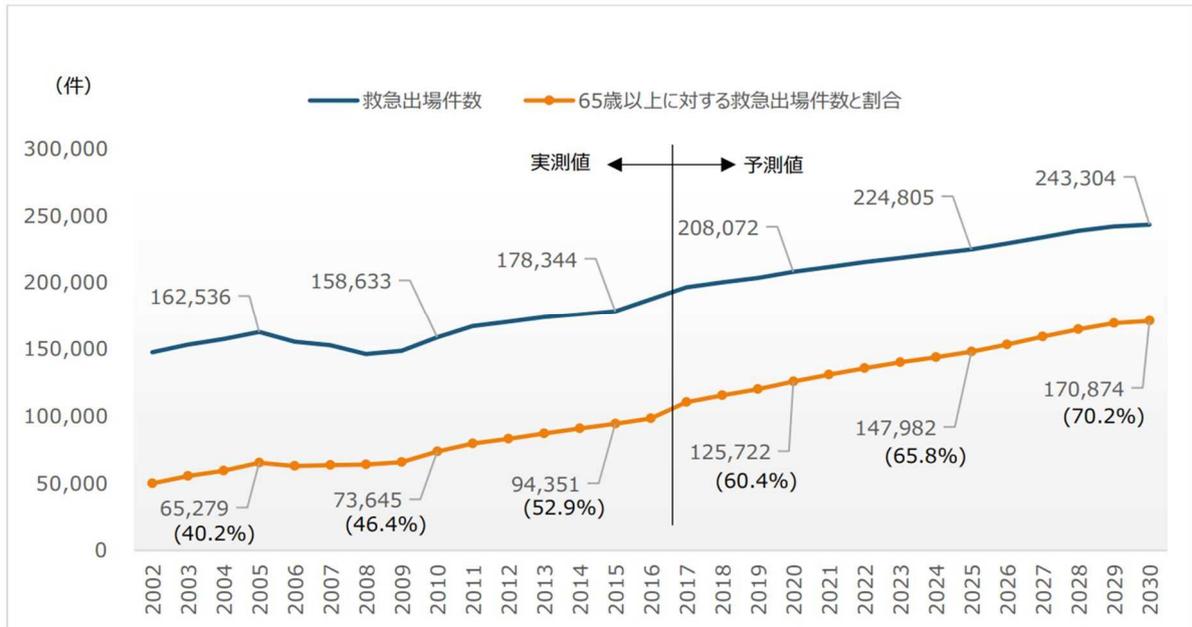


図 18 年間救急出場件数の予測結果[17]

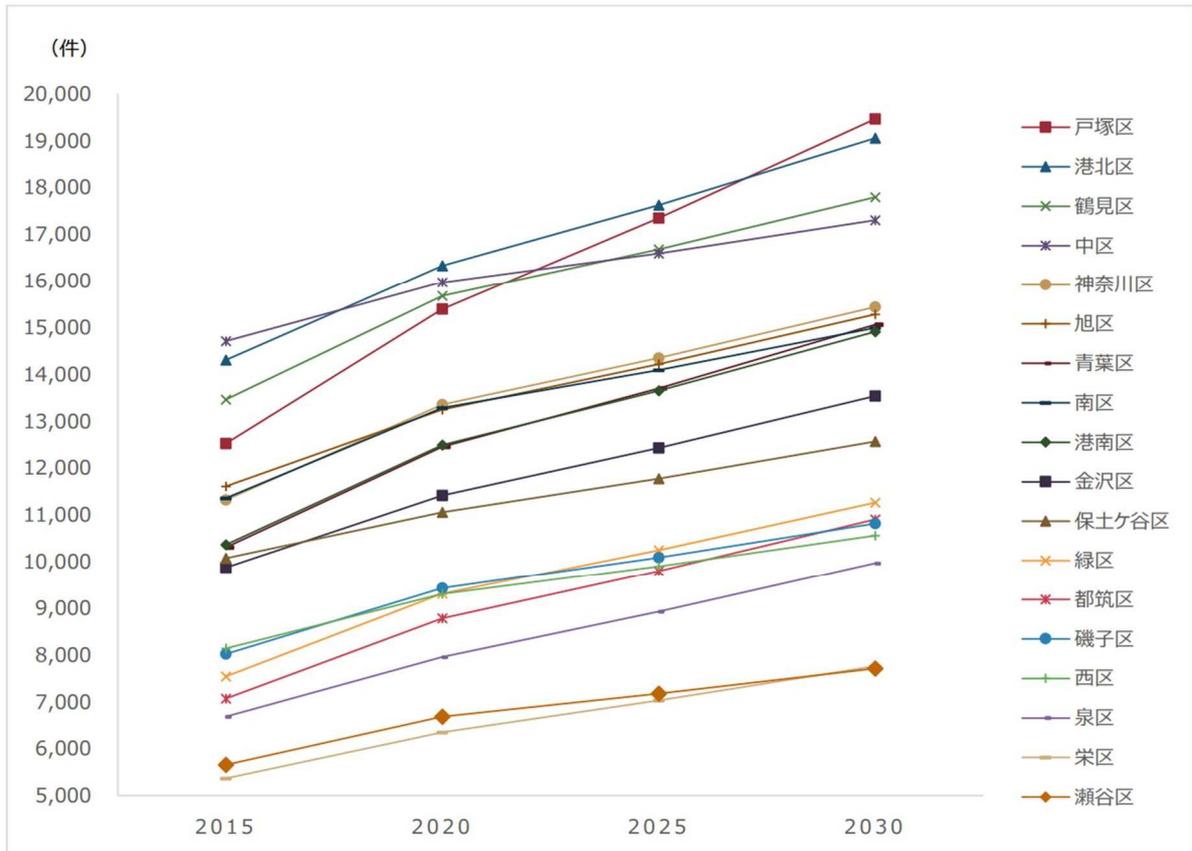


図 19 行政区別の年間救急出場件数の予測結果[17]

## 4.2. 研究の手法

前節にて救急需要予測の研究をレビューしたが、横浜市消防局と横浜市立大が共同研究で取り組んだ、救急需要の将来予測の事例が本研究の目的に沿った事例となる。なお、当該事例では、重回帰分析を用いてモデルを構築している。重回帰分析では、説明変数に重み（ウェイト）を乗じた多項式で目的変数を求める式が表現されるためモデル構造の理解が可能だが、曜日や性別など尺度を持たない変数を説明変数に用いることができないといった短所もある。

本研究では、横浜市消防局の事例を参考に、近年適用事例が増えているアルゴリズムであるニューラルネットワークを用い、札幌市の救急出動の将来予測モデルの構築に取り組む。研究の手法について以下に説明する。

### 4.2.1. ニューラルネットワークの概要

ニューラルネットワークは、人間や動物の脳神経回路をモデルとしたアルゴリズムである。図 20 は、ニューラルネットワークを構成するニューロンの模式図である。入力 ( $x_1, x_2$ ) にそれぞれ重み ( $w_1, w_2$ ) を乗じた値 ( $x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2$ ) が閾値 ( $\theta$ ) を超えるとある値を出力し、それ以下であれば値を出力しない仕組みとなっている。

ニューラルネットワークは、これらのニューロンが連なる入力層、隠れ層（中間層）、出力層から構成される（図 21）。中間層の層数が増え、多層になったニューラルネットワーク(Deep Neural Network)による機械学習手法をディープラーニング（深層学習）という。

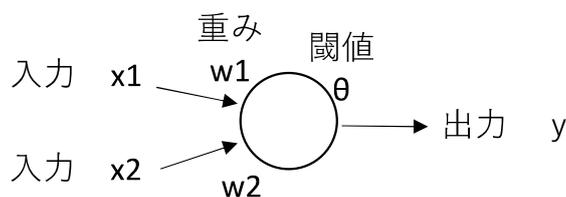


図 20 ニューロンの模式図

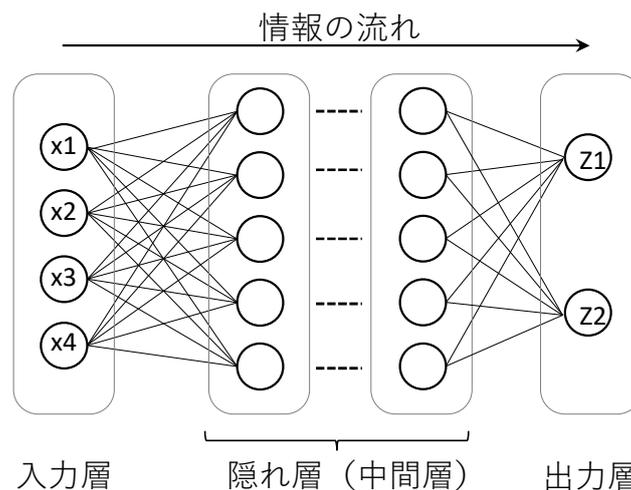


図 21 一般的なニューラルネットワークの模式図

## 4.2.2. 目的変数・説明変数の設定

### (1) 目的変数の設定

#### ①分析対象期間の設定

目的変数として、札幌市消防局から提供いただいた救急搬送データを使用する。提供いただいた救急搬送データは、2006（平成 18）年 1 月 1 日から 2022（令和 4）年 8 月下旬までの出動件数と搬送人員に関するデータである。本研究では、横浜市消防局の例に倣い、日単位での予測をもとに年間の救急需要の予測に取り組むため、提供データのうち 2006 年 1 月 1 日から 2021 年 12 月 31 日までの 16 年間分のデータを使用することとし、さらに、2020 年は新型コロナウイルス感染症の流行が救急搬送に影響したと考えられるため、モデルの構築には 2019 年 12 月 31 日までのデータを使用することとした。

#### ②目的変数の選定

札幌市消防局から提供いただいた救急搬送データのうち、救急出動件数を目的変数とする場合、搬送人員を目的変数とする場合が考えられる。本研究では搬送人員を目的変数とすることとした。

理由は、以下のとおりである。

- ①消防局提供データの搬送件数は、事故種別から医師搬送と医療資器材搬送を削除しているため札幌市の公表資料と一致しないため
- ②搬送人員と搬送件数には高い相関関係があり、どちらかを指標とすればよいため（図 22）

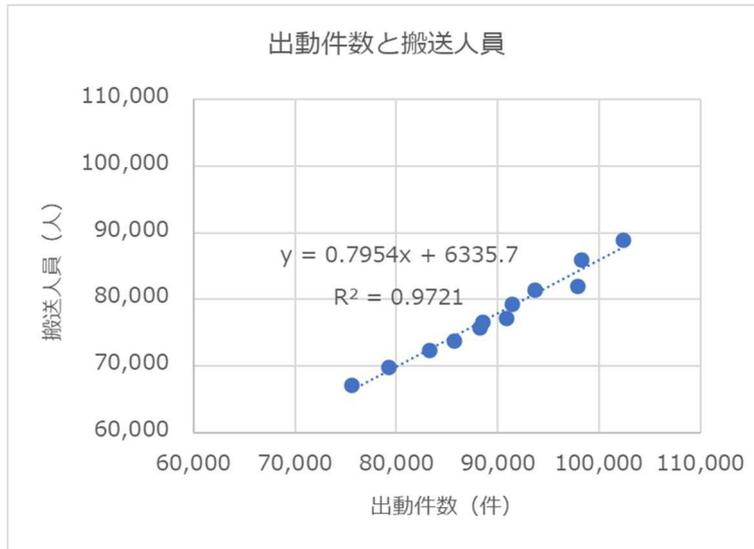


図 22 札幌市の出動件数と搬送人員の関係

参考まで、2006 年から 2021 年までの日別の搬送人員を図 23 から図 38 に示す。

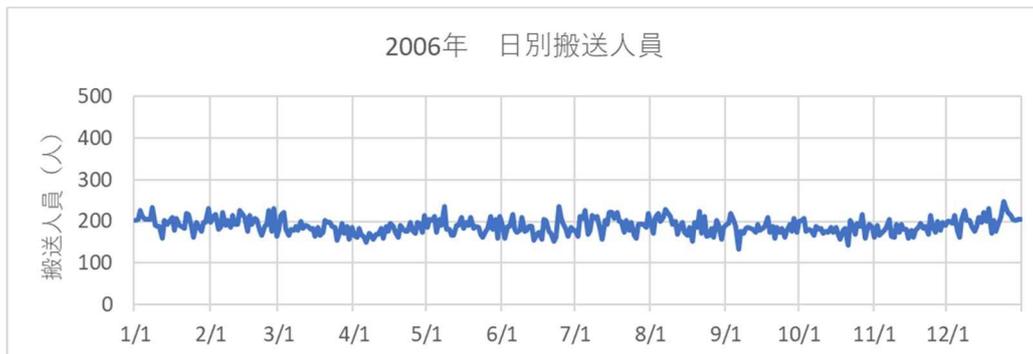


図 23 2006 年の札幌市の日別搬送人員

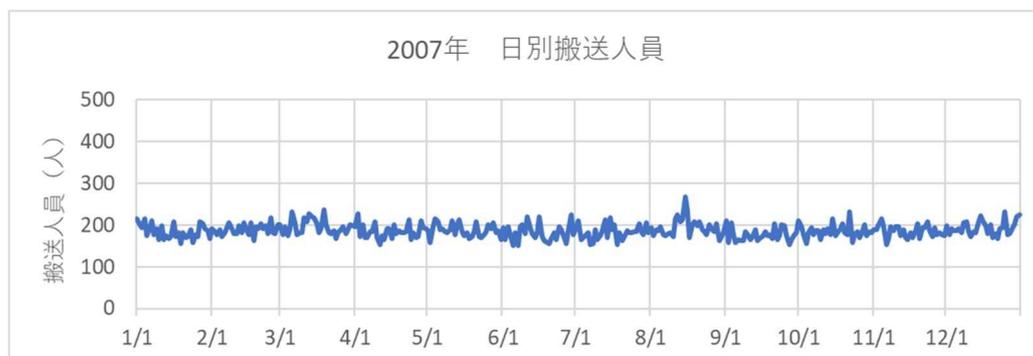


図 24 2007 年の札幌市の日別搬送人員

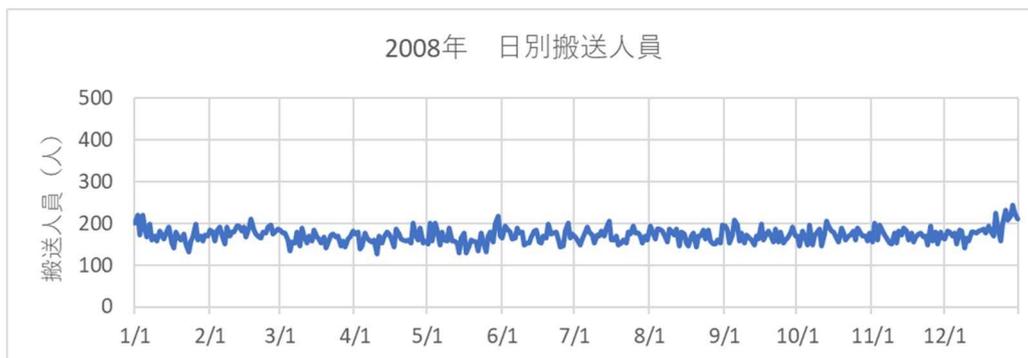


図 25 2008 年の札幌市の日別搬送人員

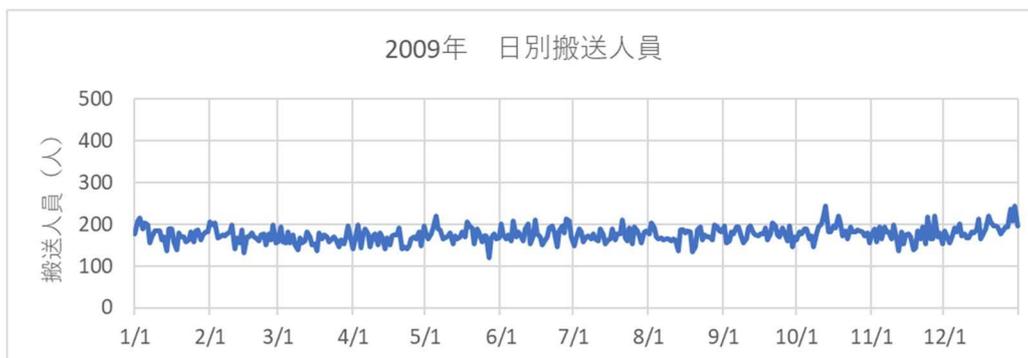


図 26 2009 年の札幌市の日別搬送人員

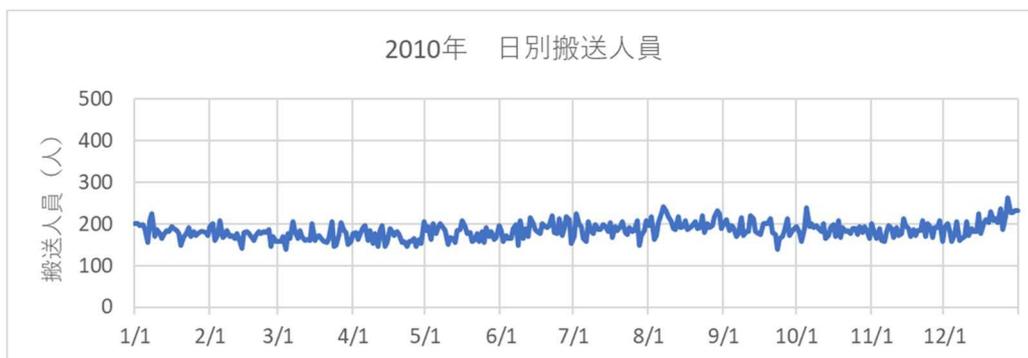


図 27 2010 年の札幌市の日別搬送人員

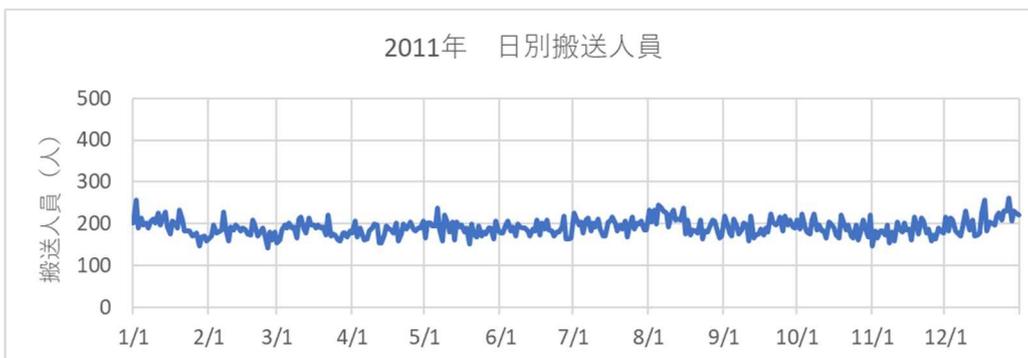


図 28 2011 年の札幌市の日別搬送人員

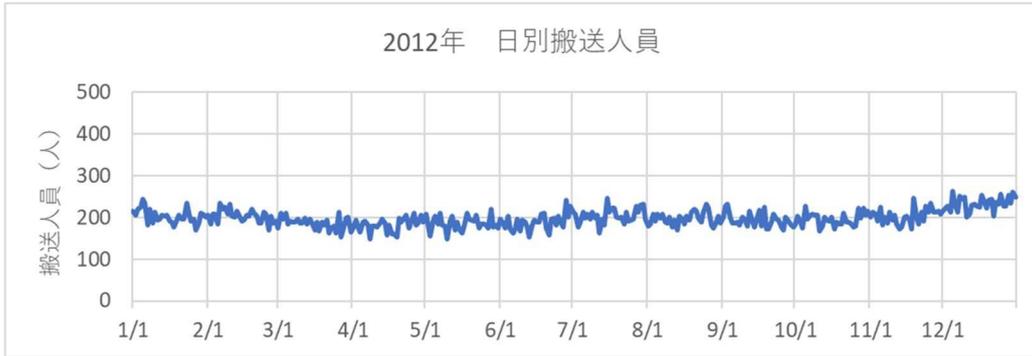


図 29 2012 年の札幌市の日別搬送人員

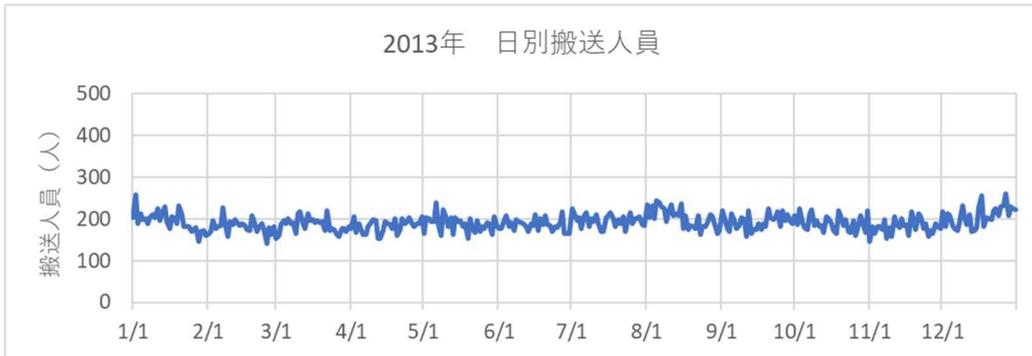


図 30 2013 年の札幌市の日別搬送人員

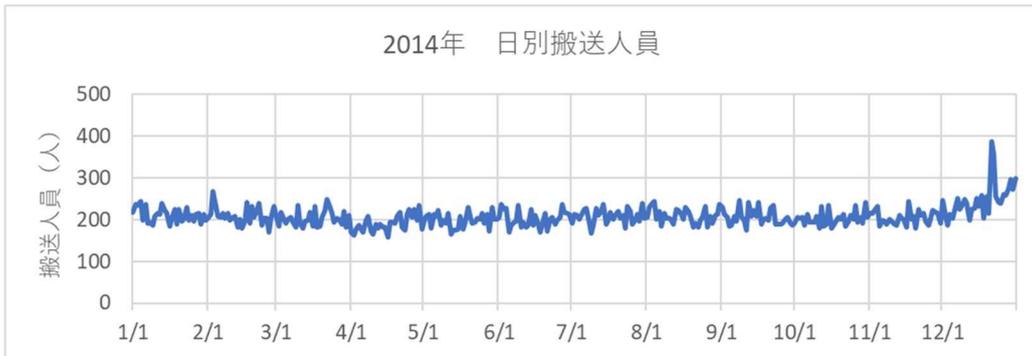


図 31 2014 年の札幌市の日別搬送人員

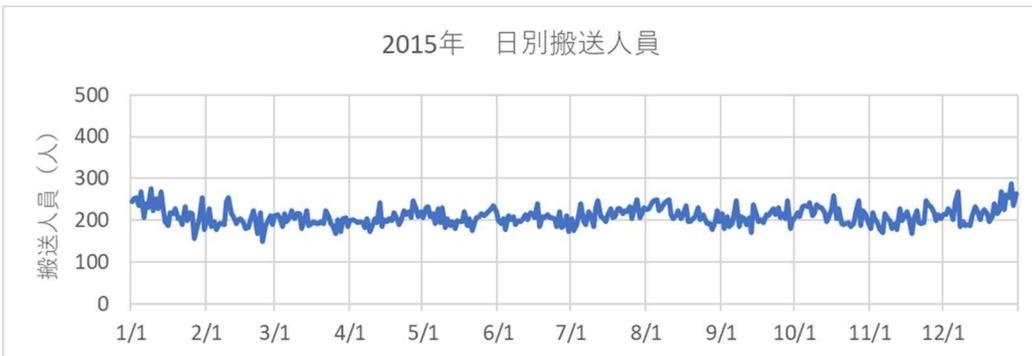


図 32 2015 年の札幌市の日別搬送人員



図 33 2016 年の札幌市の日別搬送人員

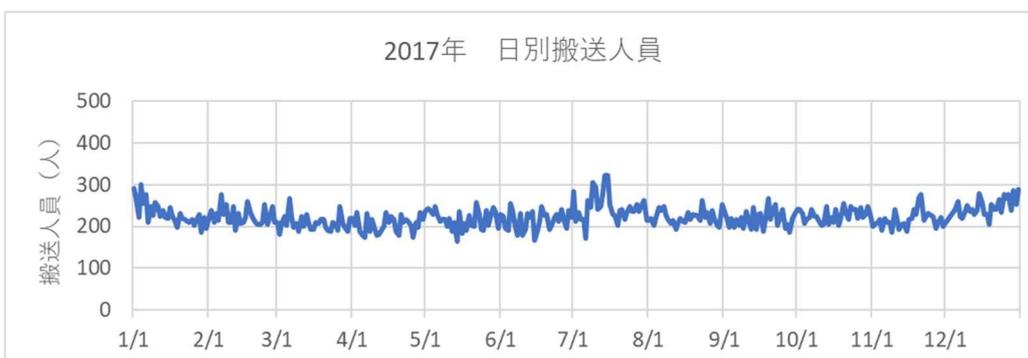


図 34 2017 年の札幌市の日別搬送人員

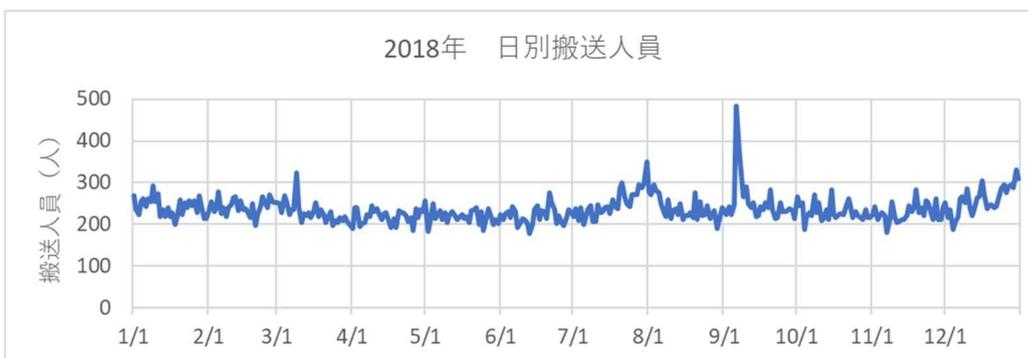


図 35 2018 年の札幌市の日別搬送人員

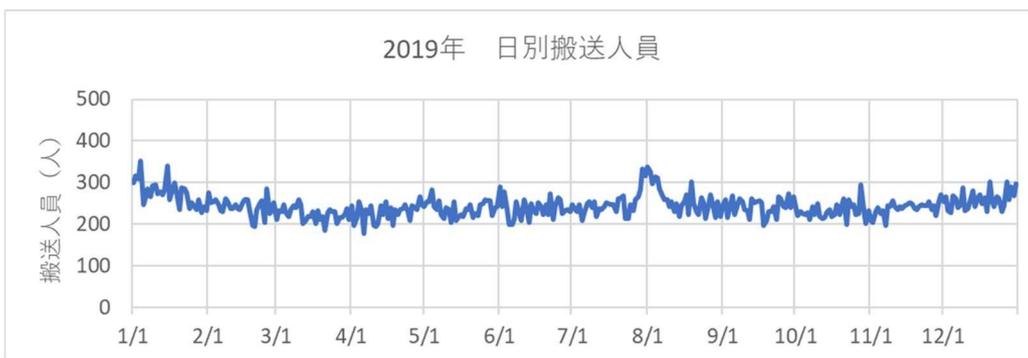


図 36 2019 年の札幌市の日別搬送人員

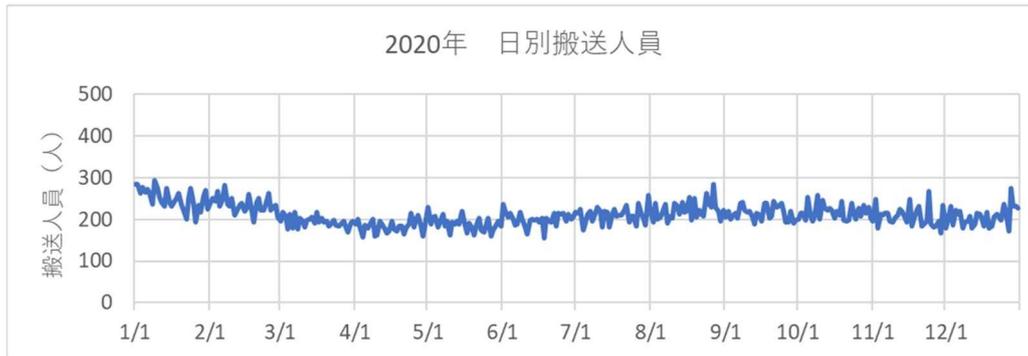


図 37 2020 年の札幌市の日別搬送人員

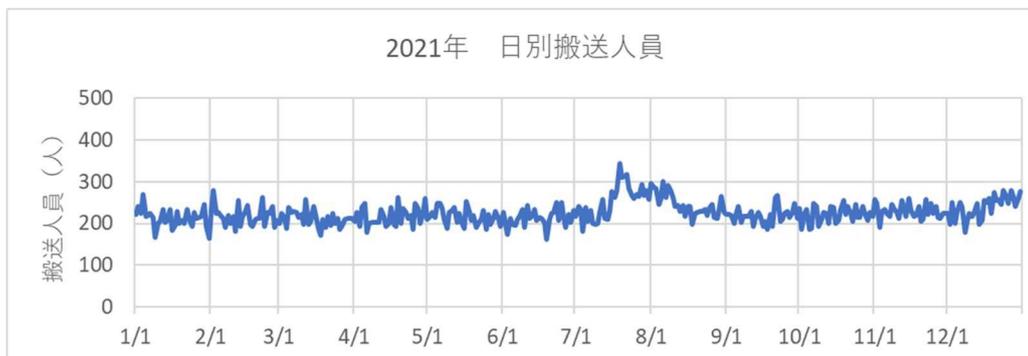


図 38 2021 年の札幌市の日別搬送人員

図を見ると、搬送人員数が突出している日がいくつかある。2018年9月6日の搬送人員は483人と突出しているのは、北海道胆振東部自身の影響と考えられる。また、2014年12月21日の搬送人員は388名だった。この日は、雪道の自己転倒による救急搬送者[18]が163人を記録した日だった。

### (1) 説明変数の設定

横浜市消防局と横浜市立大との共同研究では、人口動態、気象、暦、その他の救急関連情報を説明変数として設定した。また、検討の過程では、人口動態のうち、年齢区分別の人口を検討するなど、説明変数の試行錯誤の過程があった。

本研究では、横浜市消防局らの事例を参考に、人口、気象、暦を説明変数としてモデルの構築に取り組む。なお、説明変数の設定に当たっては、公表されている統計資料などのデータを使用することとした。これについては、将来の予測値についても同様である。たとえば、将来の人口は、将来の推計人口データを用いる。

横浜市消防局らの事例では、#7119 利用率、救急車適正利用広報費などの救急関

連情報も説明変数としたが、これらを説明変数にした場合、根拠のある将来予測値を設定することが困難なため、先述の理由で本研究では説明変数としない。

以下に説明変数について説明を加える。

## ①人口

札幌市では人口統計として、「推計人口」[19]、「住民基本台帳人口」[20]および「人口動態」[21]を公表している。「推計人口」は、「国勢調査」の数値を基礎に、毎月の住民基本台帳による人口の増減を加えて算出した、毎月1日現在の札幌市及び各区の推計人口・世帯数（国勢調査ベース）である。「住民基本台帳人口」は、住民基本台帳に基づく人口・世帯数で、札幌市及び各区のほか年齢別や統計区などの小地域別の人口も集計している。

札幌市では、搬送人員に占める高齢者の割合は増加傾向にあり、また、横浜市消防局・横浜市立大の共同研究事例からも、年代別の人口を考慮することが必要と考えられる。本研究では、札幌市の人口統計のうち年代別の人口が示されている「住民基本台帳人口」を用いることとした。

救急搬送人員の将来予測には、札幌市の将来推計人口[9]を用いるが、この将来推計人口では5歳刻みで将来推計人口が示されている。詳細な年齢区分も設定可能であり、本研究では、説明変数として用いる指標の比較検証を行った結果、総人口、老年1人口（65歳～74歳の人口）、老年2人口（75歳～84歳の人口）および老年3人口（85歳以上の人口）を採用した。

なお、本研究では、札幌市の救急需要の将来予測に取り組むが、次のステップとして、札幌市内の地域（行政区やまちづくりセンターなど）ごとの救急需要予測を行うことを想定している。札幌市では、「将来推計人口に基づく地域分析調書～戦略的地域カルテ・マップ～」[22]で行政区およびまちづくりセンターの将来推計人口を算出しており、これらの資料を用いた予測に取り組むことを想定している。

## ②気象

気象データについては、国土交通省気象庁の“過去の気象データ・ダウンロードサイト”[23]（図39）に掲載されている気象データをダウンロードして使用する。



図 39 国土交通省気象庁 過去の気象データ・ダウンロードサイト[23]

当該サイトでは、以下の気象要素を日単位の数値データとして取得することができる。

気温（日平均、日最高、日最低）、降水量の日合計、日照時間、日合計全天日射量、日最深積雪、降雪量の日合計、日平均風速

説明変数とする気象データは、横浜市消防局・横浜市立大学の共同研究では、平均気温、前日との気温差、日照時間などを採用した。日照時間は、熱中症による救急搬送需要への影響を想定したと考えられる。

札幌市の地域特性、気象の将来予測値の入手可能性について考えると、札幌市の地域特性として、札幌市では雪道の自己転倒による救急搬送が一冬で千人程度発生していることから、冬期の気温低下、降雪・積雪の影響を考慮する必要がある。

次に、気象の将来予測値は、「日本の気候変動 2020」[24]および「日本の気候変動 2020」に基づいて作成された各地域の予測レポートを参照した。「日本の気候変動 2020」は、過去から現在の気象観測事実を基に気象の将来予測をまとめている。将来予測に関しては、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）による第 5 次評価報告書第 I 作業部会報告書で用いられた代表的濃度経路（RCP）シナリオのうち、RCP2.6 シナリオ（2℃上昇シナリオ）及び RCP8.5 シナリオ（4℃上昇シナリオ）に基づき、21 世紀末における予測結果を報告している。

そして、本研究では、「日本の気候変動 2020」に基づく日本の各地域の気象の将来予測として、札幌管区気象台が作成した石狩地方の気象予測情報[25]を参照した。石狩地方の気象予測情報では、気温（図 40）、雨（図 41）、雪の変化について紹介している。

具体的には、①札幌は年平均気温が 100 年あたり約 2.5℃の割合で上昇し、②北海道は短時間強雨の発生頻度が約 30 年前と比較して約 1.6 倍に増加し、③北海道日本海側は年最深積雪の基準値（1991～2020 年の 30 年平均値）に対する比（%）が、10 年あたり約 5%の割合で減少している。

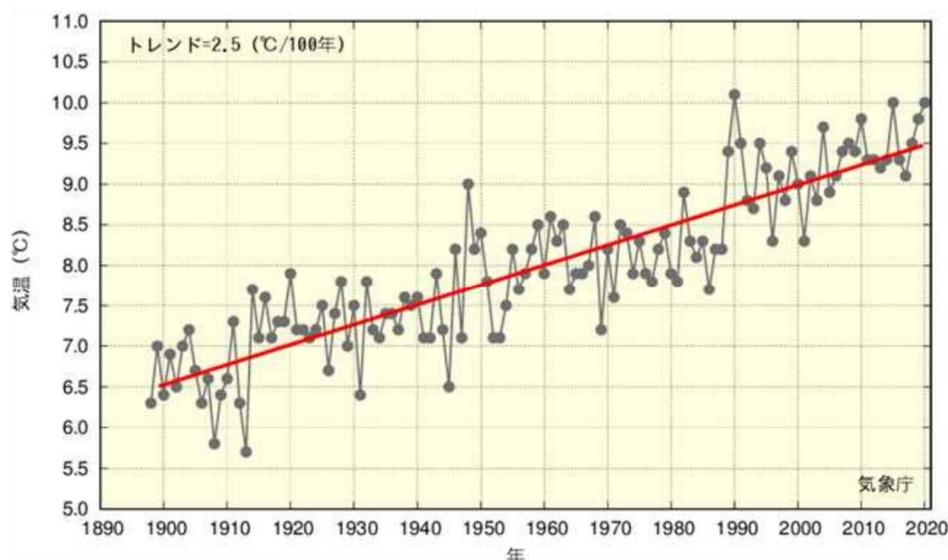


図 40 札幌の年平均気温（1898～2020 年、単位：℃）

※折線（黒）は各年の気温、直線（赤）は長期的な変化傾向を示している。

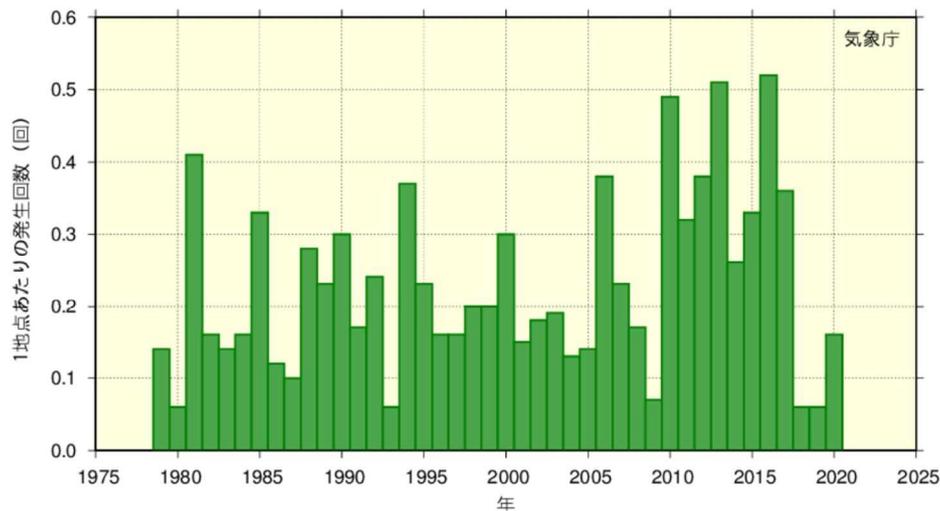


図 41 北海道地方の短時間強雨（1 時間降水量 30mm 以上）の年間発生回数の経年変化（1979～2020 年、アメダス 1 地点あたりの発生回数）

本研究では、過去の気象データ・ダウンロードサイトからダウンロードできる気象データのうち、長期的な将来予測値が示されている気温と最深積雪を説明変数として採用する。なお、将来予測の場合は、平年値（1991 年～2020 年）に対し、平均気温は 100 年あたり約 2.5℃の割合で上昇させた値、最深積雪は 10 年あたり 5%の割合で減少させた値を使用する。

### ③ 暦

横浜市消防局・横浜市立大の共同研究では、月、連休後の平日などを説明変数として採用した。本研究では、札幌市の救急搬送には曜日による変動もあることから、これらに加えて曜日も説明変数として採用する。

「連休後の平日」は、祝日等がない場合は月曜日が該当する。日曜日に祝日がある場合は月曜日が振替休日になるので、火曜日が該当する（図 42）。

なお、月・曜日などの尺度を持たないカテゴリ変数の説明変数化には one-hot エンコーディングを用いた。one-hot エンコーディングとは、カテゴリ変数を機械学習のアルゴリズムが学習しやすいように 0 と 1 で表現する処理で、たとえば、日曜日を [1, 0, 0, 0, 0, 0, 0]、月曜日を [0, 1, 0, 0, 0, 0, 0] と表現する。

①祝日がない場合		
2021/7/31	土	
2021/8/1	日	
2021/8/2	月	→ 8月2日が「連休後の平日」に該当
2021/8/3	火	

②祝日がある場合		
2021/8/7	土	
2021/8/8	日	山の日
2021/8/9	月	振替休日
2021/8/10	火	→ 8月10日が「連休後の平日」に該当

図 42 「連休後の平日」の例

以上、本研究でニューラルネットワークモデル構築に使用する説明変数を表 3 にまとめる。月と曜日については one-hot エンコーディングを用いるため変数の数が多くなり、とトータルでは 28 の説明変数を用いる。

表 3 本研究で使用する説明変数

種類	項目	変数の数	出典
人口	総人口	1	住民基本台帳人口
	老年1人口	1	
	老年2人口	1	
	老年3人口	1	
気象	日平均気温	1	過去の気象データ・ダウンロードサイト
	日最高気温	1	
	日最低気温	1	
	最深積雪	1	
暦	月	12	
	曜日	7	
	連休後の平日	1	

### 4.3. ニューラルネットワークモデルの構築

#### (1) 使用するプログラミング言語

ニューラルネットワークモデルを構築するプログラミング言語として、本研究では Python(ver. 3.7.0)を使用した。

Python は、無償で使用・配布でき、商用利用も可能なオープンソースライセンス

で提供されている[26]。Python は、機械学習や AI 開発にも活用されている。研究では、ニューラルネットワークの実装に、以下のライブラリを使用した。

- ・ TensorFlow [27] :  
Google の機械学習/ディープラーニング/多層ニューラルネットワークの開発用オープンソースのライブラリ。
- ・ TFLearn [28] :  
Tensorflow 用のディープラーニングライブラリ
- ・ Keras [29] :  
Python で書かれた、TensorFlow 上で実行可能なニューラルネットワークライブラリ

## (2) ニューラルネットワークモデルの学習

1 日当たりの救急搬送人員を目的変数とし、前述の 28 変数を説明変数としてニューラルネットワークに学習させた。なお、新型コロナウイルス感染症の影響があると考えられることから、2006 年から 2019 年までのデータを対象とした。データのうち、80%を学習に用いる教師データ、20%を検証データとして、過学習 (overfitting) を防ぐために検証データの損失関数の推移から学習を早期に終了する Early-stopping[30]を実装した。

ニューラルネットワークモデルの構造 (隠れ層の総数、各層のニューロン数) は、類似の既往研究[31]から設定し、推定誤差が小さくなるようにモデル構造のチューニング (調整) を行った。

### 4.4. ニューラルネットワークモデルの構築結果

前節で紹介した過程でデータを作成し、ニューラルネットワークモデルを構築した。図 43 から図 56 に、本研究で構築したニューラルネットワークモデルを用い、2006 年から 2019 年までの日別の搬送人員を推定した結果を示す。

なお、ニューラルネットワークの構造は、隠れ層数、各層のニューロン数を変えながらプログラムを実行し、推定誤差が小さくなるモデル構造を設定し、隠れ層は 8 層、各層のニューロン数を 128 とした。

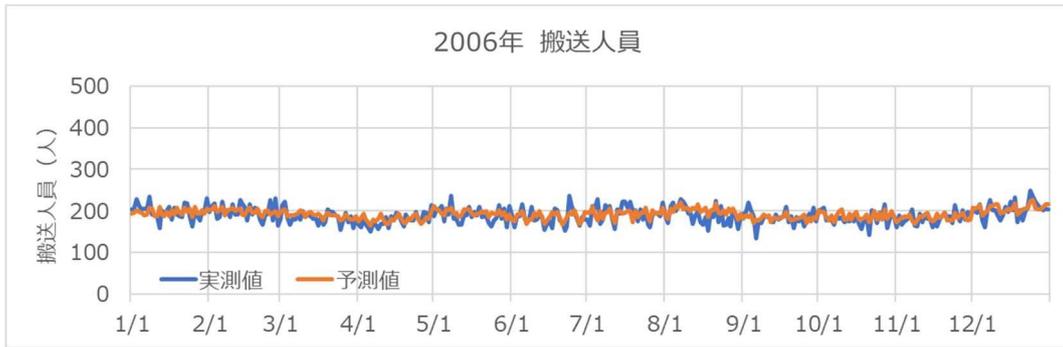


図 43 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値（2006 年）

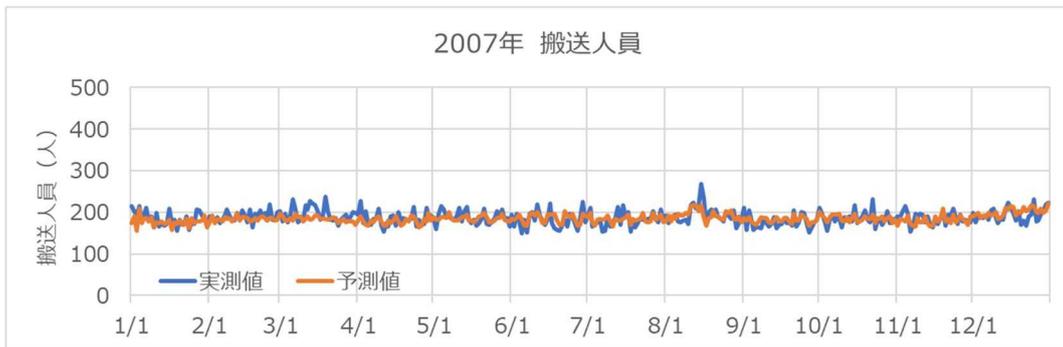


図 44 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値（2007 年）

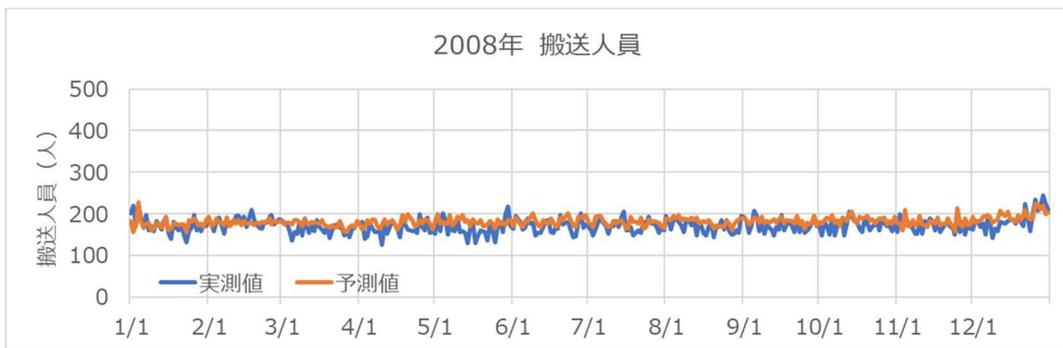


図 45 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値（2008 年）



図 46 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値（2009 年）



図 47 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値（2010 年）



図 48 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値（2011 年）



図 49 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値（2012 年）



図 50 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値（2013 年）



図 51 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値 (2014 年)

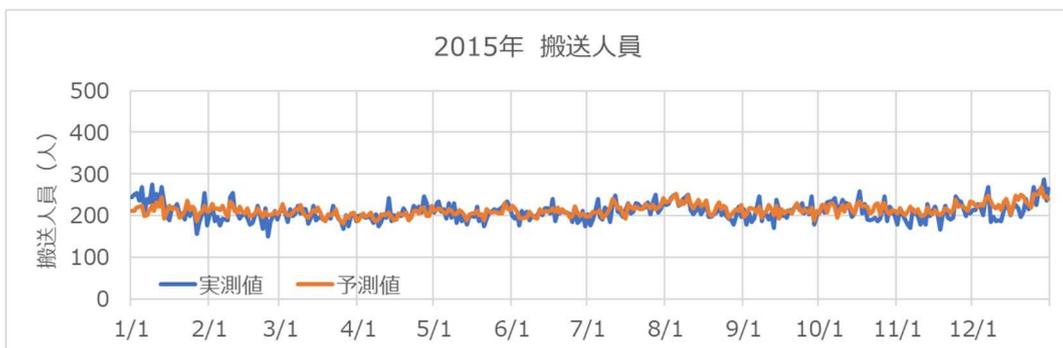


図 52 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値 (2015 年)



図 53 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値 (2016 年)



図 54 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値 (2017 年)

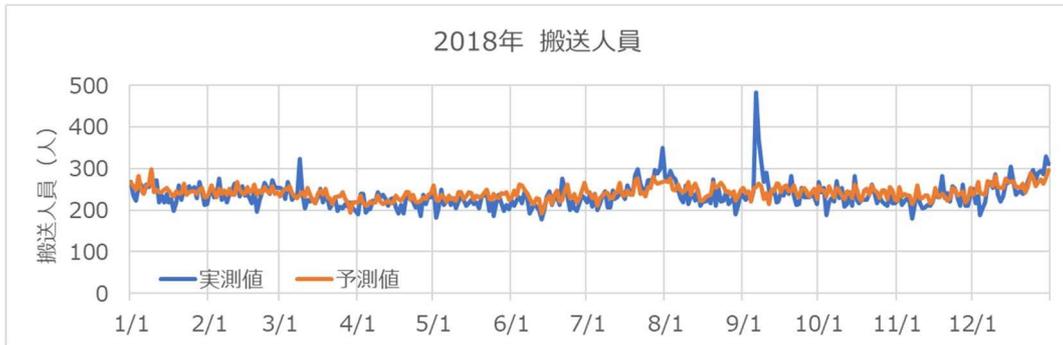


図 55 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値（2018 年）

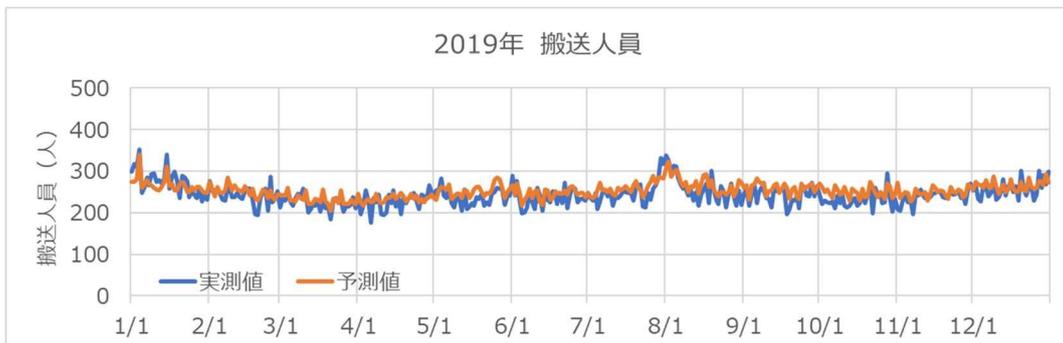


図 56 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値（2019 年）

図 43 から図 56 に示した実測値と予測値の誤差を定量的に示す。誤差の指標として、平均絶対誤差（Mean Absolute Error: MAE）（式（1））および最大絶対誤差（Maximum Absolute Error: MaxAE）（式（2））を用いる

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - y_i| \quad (1)$$

$$\text{MaxAE} = \max_{1 \leq i \leq n} |f_i - y_i| \quad (2)$$

式(1)、式(2)において、 $n$ はデータ数、 $f_i$ は予測値、そして $y_i$ は実測値を表す。ここでは、各年の MAE と MaxAE を評価した結果を表 4 に示す。すなわち、表 4 では、 $n$ は各年のデータ数（通常年では 365、うるう年では 366）、 $f_i$ はニューラルネットワークモデルによる予測値、そして $y_i$ は搬送人員の実測値となる。

表4 日単位での予測結果のMAEとMaxAE

日単位の評価	MAE	MaxAE
2006	12.4	50.1
2007	12.2	53.5
2008	14.3	64.5
2009	12.8	51.5
2010	12.5	57.3
2011	13.5	51.1
2012	12.4	58.7
2013	14.1	75.4
2014	15.0	127.9
2015	13.5	53.8
2016	14.3	52.4
2017	17.2	65.2
2018	17.5	227.5
2019	16.6	64.9

日別の搬送人員の予測の誤差（平均絶対誤差）は、年単位で平均すると12人～17人程度となっている。予測誤差の最大値は概ね50人～60人だが、2014年は127.9人、2018年は227.5人と大きな乖離が生じている日がある。2014年は雪道の自己転倒が多発して一日の搬送人員が388人に達した日があり、2018年は北海道胆振東部地震があった9月6日に搬送人員が483人だった日があった。これらの日に実測値と予測値に大きな乖離が生じていた。

次に、年単位で集計した結果を図57に示す。搬送人員数が減少した2008年に実測値と予測値の乖離が見られたが、構築したニューラルネットワークモデルは搬送人員の推移を高い精度で再現できていると言える。



図 57 年別の搬送人員の実測値と予測値（2006年～2019年）

次に、図 57 に示した実測値と予測値の誤差を、誤差率を用いて定量的に示す（表 5）。誤差率は、実測値と予測値の差の絶対値を実測値で割ることで求められる。

表 5 年別搬送人員の予測誤差の評価

年	実測値	予測値	絶対誤差	誤差率 (%)
2006	68,923	69,979	1,056	1.5%
2007	68,108	67,462	646	0.9%
2008	62,789	66,293	3,504	5.6%
2009	64,041	65,840	1,799	2.8%
2010	67,240	68,255	1,015	1.5%
2011	69,843	71,020	1,177	1.7%
2012	72,500	73,961	1,461	2.0%
2013	73,850	76,236	2,386	3.2%
2014	75,831	78,094	2,263	3.0%
2015	76,634	77,889	1,255	1.6%
2016	79,383	81,975	2,592	3.3%
2017	81,411	84,689	3,278	4.0%
2018	85,999	88,331	2,332	2.7%
2019	88,898	92,334	3,436	3.9%

年単位で評価すると、搬送人員の減少が見られた 2008 年の誤差率が大きく、最大の誤差率は 2008 年の 5.6% だった。しかし、上記以外の年は誤差率が 4% 以内に収まっており、精度の高いモデルが構築できたと言える。

## 5. 構築モデルを用いた救急需要予測

### 5.1. コロナ時期（2020 年-2021 年）の救急需要の予測

第 4 章で構築したニューラルネットワークモデルは、新型コロナウイルス感染症（以下、「コロナ」と略す）の流行が救急出動に影響を与えた可能性を考慮し、2006 年から 2019 年までの救急出動データを用いて構築した。

実際、2020（令和 2）年および 2021（令和 3）年の出動件数および搬送人員は減少しており、コロナの流行の影響があった可能性が考えられる（図 58）。そこで、本節では、構築したモデルを使って 2020 年および 2021 年の搬送人員を予測し、実測値と比較をする。

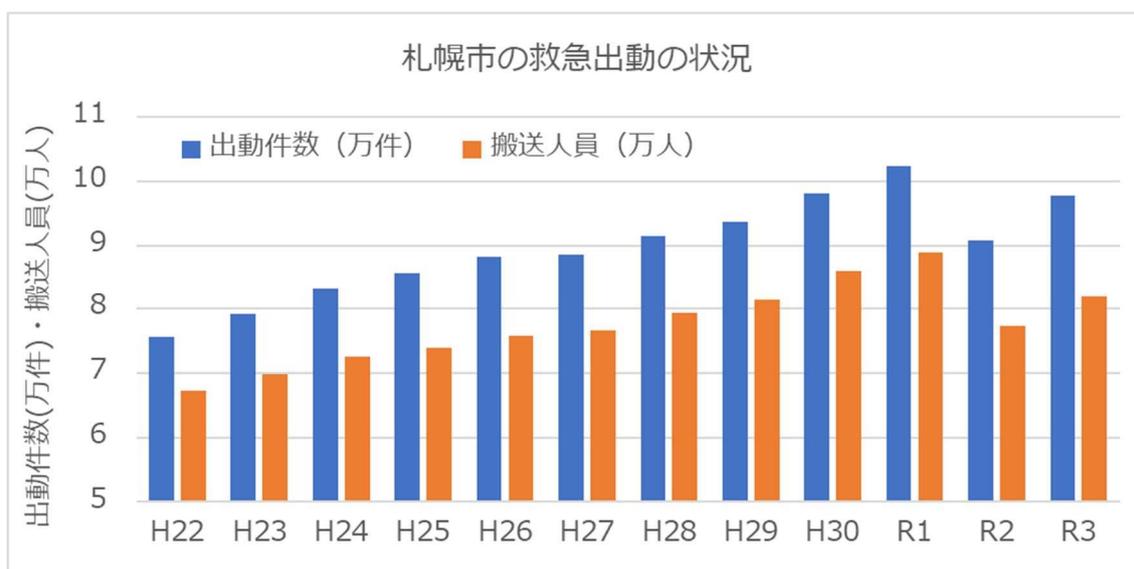


図 58 札幌市の救急出動の状況（再掲） [1]

（新型コロナウイルス感染症患者の移送に係る出動件数・搬送人員は除く）

2020 年、2021 年の人口、気象、カレンダーの情報を第 4 章で構築したモデルに投入して得られた予測値と搬送人員の実測値を図 59、図 60 に示す。

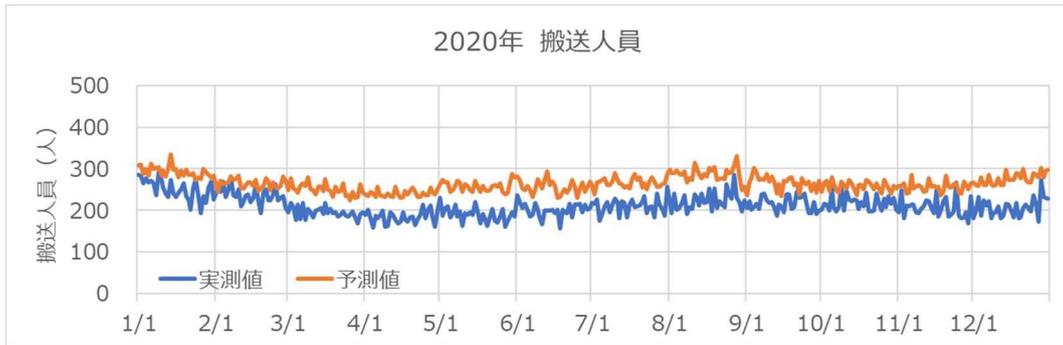


図 59 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値 (2020 年)



図 60 搬送人員の実測値とニューラルネットワークモデルによる予測値 (2021 年)

次に、年単位で集計した結果を図 61 と表 6 に示す。ニューラルネットワークモデルによる予測値は実測値を 1 万 9 千人程度上回っており、2021 年の搬送人員は 9 万 8 千人台になると予測した。誤差率も 20% を超えており、本モデルの予測結果から、コロナの流行による救急需要の減は大きかったと考えられる。

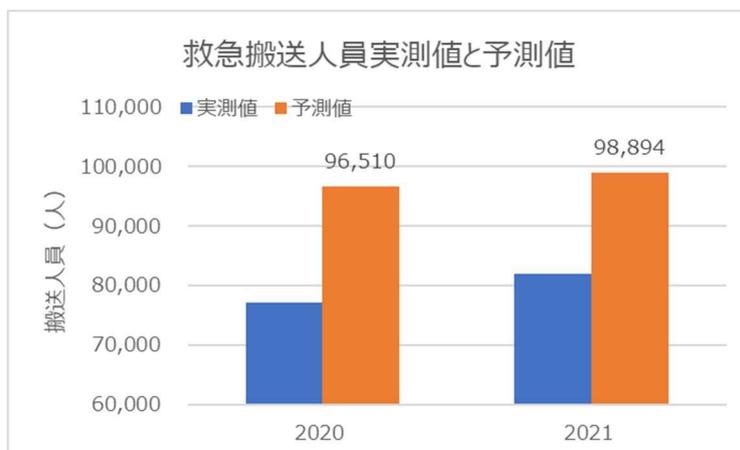


図 61 2020 年、2021 年の搬送人員の実測値と予測値

表 6 2020 年、2021 年の搬送人員の予測誤差の評価

年	実測値	予測値	絶対誤差	誤差率 (%)
2020	77,057	96,510	19,453	25.2%
2021	81,924	98,894	16,970	20.7%

この予測結果を、2019 年までの予測結果に重ね合わせたものを図 62 に示す。

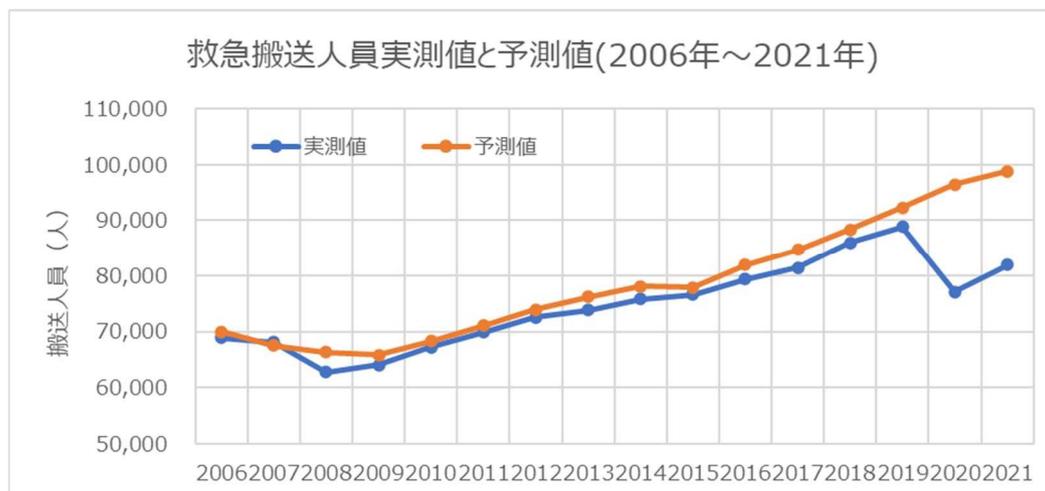


図 62 救急搬送人員の実測値と予測値 (2006 年～2021 年)

## 5.2. 救急需要の将来予測

第 4 章で構築したニューラルネットワークモデルを用い、救急需要の将来予測に取り組む。構築したモデルに将来の人口、気象、カレンダーに関するデータを投入することで搬送人員の将来予測値が得られる。

### 5.2.1. 将来予測計算用のデータ準備

#### ① 将来の推計人口

札幌市の将来推計人口データ[9]を用いる。当該データでは、2020 年から 2060 年まで、5 年ごとに札幌市の人口を推計している。図 63 に年齢区分別の将来推計人口を示す。

本研究では、2025 年から 5 年間隔で 2060 年までを救急需要の将来予測対象年とする。

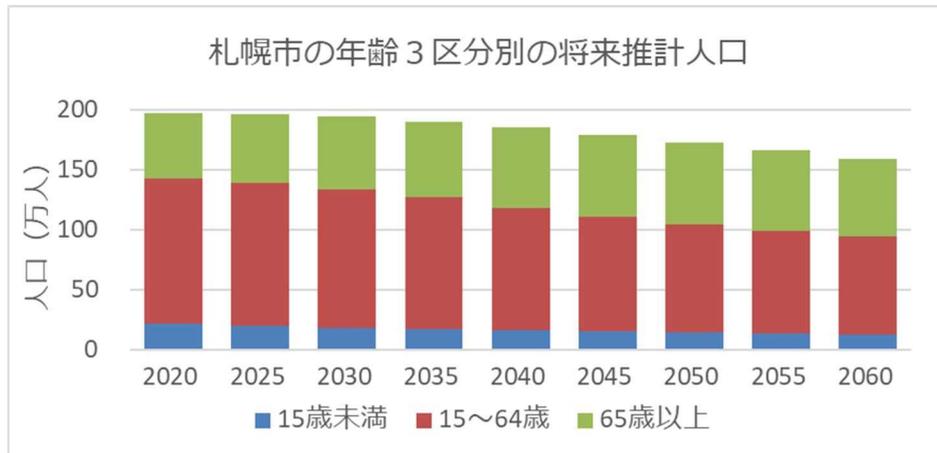


図 63 札幌市の年齢3区分別人口[9]

### ②将来の気象予測値

将来の気象予測値は、平年値（1991年から2020年までの30年平年値）をベースとし、

- ・札幌は年平均気温が100年あたり約2.5℃の割合で上昇
- ・北海道日本海側は年最深積雪の基準値（1991～2020年の30年平均値）に対する比（%）が、10年あたり約5%の割合で減少

していることを踏まえ、この傾向が将来にわたって続くと仮定して、将来の気温と最深積雪を設定した。

### ③将来のカレンダー情報

祝日については「国民の祝日に関する法律（昭和23年法律第178号）」の第2条に定められている（表7）[32]。本研究で2060年までの救急需要予測を行うにあたり、表7に示した国民の祝日が存続している条件でカレンダー情報を作成した。

なお、国民の祝日のうち、「春分の日」及び「秋分の日」は、法律で具体的に月日が明記されず、それぞれ「春分日」、「秋分日」と定められている。「春分の日」及び「秋分の日」については、国立天文台が、毎年2月に翌年の「春分の日」、「秋分の日」を官報で公表しており、それ以降2050年までの春分日、秋分日は国立天文台のウェブサイト公表されている（表8）[33]。

表7 国民の祝日

国民の祝日	日付	趣旨
元日	1月1日	年のはじめを祝う。
成人の日	1月の第2月曜日	おとなになったことを自覚し、みずから生き抜こうとする青年を祝いはげます。
建国記念の日	政令で定める日 (2月11日)	建国をしのび、国を愛する心を養う。
天皇誕生日	2月23日	天皇の誕生日を祝う。
春分の日	春分日	自然をたたえ、生物をいつくしむ。
昭和の日	4月29日	激動の日々を経て、復興を遂げた昭和の時代を顧み、国の将来に思いをいたす。
憲法記念日	5月3日	日本国憲法の施行を記念し、国の成長を期する。
みどりの日	5月4日	自然に親しむとともにその恩恵に感謝し、豊かな心をはぐくむ。
こどもの日	5月5日	こどもの人格を重んじ、こどもの幸福をはかるとともに、母に感謝する。
海の日	7月の第3月曜日	海の恩恵に感謝するとともに、海洋国日本の繁栄を願う。
山の日	8月11日	山に親しむ機会を得て、山の恩恵に感謝する。
敬老の日	9月の第3月曜日	多年にわたり社会につくしてきた老人を敬愛し、長寿を祝う。
秋分の日	秋分日	祖先をうやまい、なくなった人々をしのぶ。
スポーツの日	10月の第2月曜日	スポーツを楽しみ、他者を尊重する精神を培うとともに、健康で活力ある社会の実現を願う。
文化の日	11月3日	自由と平和を愛し、文化をすすめる。
勤労感謝の日	11月23日	勤労をたっとび、生産を祝い、国民たがいに感謝しあう

表 8 西暦 2020～2050 年の春分日・秋分日

西暦年	春分日	秋分日
2020年	3月20日(金)	9月22日(火)
2021年	3月20日(土)	9月23日(木)
2022年	3月21日(月)	9月23日(金)
2023年	3月21日(火)	9月23日(土)
2024年	3月20日(水)	9月22日(日)
2025年	3月20日(木)	9月23日(火)
2026年	3月20日(金)	9月23日(水)
2027年	3月21日(日)	9月23日(木)
2028年	3月20日(月)	9月22日(金)
2029年	3月20日(火)	9月23日(日)
2030年	3月20日(水)	9月23日(月)
2031年	3月21日(金)	9月23日(火)
2032年	3月20日(土)	9月22日(水)
2033年	3月20日(日)	9月23日(金)
2034年	3月20日(月)	9月23日(土)
2035年	3月21日(水)	9月23日(日)
2036年	3月20日(木)	9月22日(月)
2037年	3月20日(金)	9月23日(水)
2038年	3月20日(土)	9月23日(木)
2039年	3月21日(月)	9月23日(金)
2040年	3月20日(火)	9月22日(土)
2041年	3月20日(水)	9月23日(月)
2042年	3月20日(木)	9月23日(火)
2043年	3月21日(土)	9月23日(水)
2044年	3月20日(日)	9月22日(木)
2045年	3月20日(月)	9月22日(金)
2046年	3月20日(火)	9月23日(日)
2047年	3月21日(木)	9月23日(月)
2048年	3月20日(金)	9月22日(火)
2049年	3月20日(土)	9月22日(水)
2050年	3月20日(日)	9月23日(金)

予測対象年である 2055 年と 2060 年の春分日・秋分日は公表されていないが、春分日は概ね 3 月 20 日で、4 年周期で 3 月 21 日になっている。同様に、秋分日は概ね 9 月 23 日で、4 年周期で 9 月 22 日になっていることから、2055 年と 2060 年の春分日・秋分日を設定した（表 9）。

表 9 予測対象年の春分日・秋分日

予測対象年	春分日	秋分日
2025年	3月20日	9月23日
2030年	3月20日	9月23日
2035年	3月21日	9月23日
2040年	3月20日	9月22日
2045年	3月20日	9月22日
2050年	3月20日	9月23日
2055年	3月21日	9月23日
2060年	3月20日	9月23日

### 5.2.2. 将来の搬送人員の予測結果

前節で説明したデータをモデルに投入し、得られた搬送人員の予測値を図 64 に示す。2030年～2040年頃に搬送人員数の増加スピードは鈍化し、若干減少するが、2045年頃から徐々に増加し、2060年には救急搬送人員が約 17.5 万人になるとの予測結果を得た。



図 64 救急搬送人員の将来予測値 (2025年～2060年)

図 65 に、第 4 章、第 5 章で得られた搬送人員の予測値を統合した図を示す。

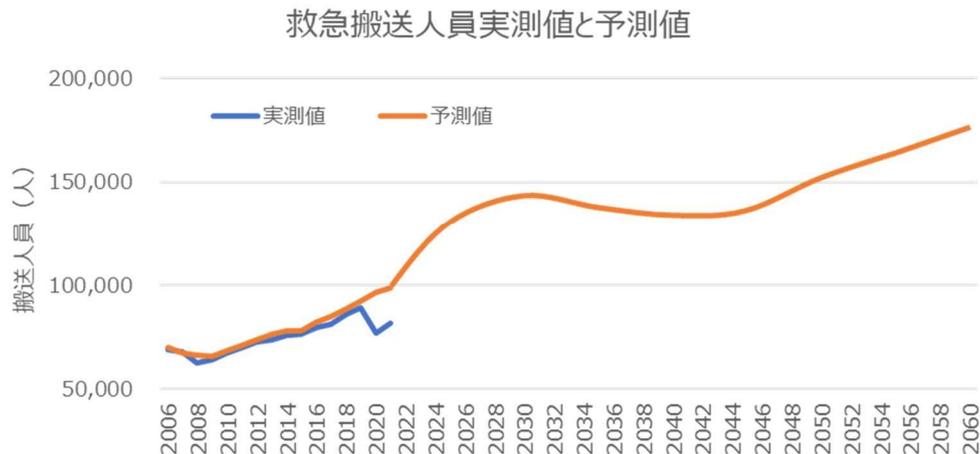


図 65 救急搬送人員の予測値の推移 (2006年～2060年)

## 6. まとめ

本研究では、札幌市における将来的な救急搬送業務に携わる人員や救急車両等のリソースの適正な配分検討など、救急業務の将来的なあり方の検討に資するため、救急搬送人員の予測モデルの構築と、当該モデルを用いた搬送人員の将来予測を行った。各章で取り組んだ内容及び結果を以下に要約する。

第1章では、本研究の背景および目的を整理した。

第2章では、札幌市の救急出動データおよび関連する公表資料を用いて札幌市の救急出動等の状況を概説した。札幌市の救急出動件数および搬送人員は年々増加しており、全国的に見ても同じ傾向にある。令和2(2020)年および令和3(2021)年の救急出動件数および搬送人員はそれまでの推移と比べると少ない値であった。これは、新型コロナウイルス感染症の影響がこの一因になっていると考えられる。

第3章では、札幌市の救急出動等の将来予測に取り組む背景として、けがや急病による救急患者が発生した場合、手当等を行うまでの時間が救急患者の生存率や予後を左右する要因であり、救急搬送時間と生存率の関係等についての分析やモデル構築に関する研究も行われていることを紹介した。

札幌市の救急出動等の現場到着時間等は増加傾向にある。現場到着時間等を短縮するため、ICTの活用など様々な取り組みがなされているが、本研究では、札幌市

の人口構造の変化による長期的な救急出動状況等の変化を予測するモデルの構築に取り組むことで、救急出動等に係る必要なリソースの予測や配分の検討に資することを旨とする。

第4章では、札幌市の救急搬送人員の予測モデル構築に取り組んだ。モデル構築には、人の神経回路を模してつくられたニューラルネットワークを採用した。説明変数には、関連研究をレビューし、気象、人口および暦に関する変数を説明変数として選定した。目的変数は搬送人員になるが、新型コロナウイルス感染症の影響が懸念される2020年および2021年の救急出動データを除き、2006年から2019年までのデータを使用した。ニューラルネットワークモデルの構造（隠れ層数や各層のニューロン数）をチューニングすることで、再現性の高いモデルを構築できた。

第5章では、第4章で構築したモデルを用い、搬送人員の予測を行った。予測は、①2021年および2022年の搬送人員の予測、②2025年から2060年までの搬送人員の予測、の2種類の予測を行った。

本研究では2019年までのデータを用いてモデルを構築したため、予測①は、「新型コロナウイルス感染症がなかった場合の搬送人員の予測」を意味する。構築したモデルで2020年と2021年の搬送人員を予測した結果、2021年の搬送人員は9万8千人台に達すると予測した。

次に、予測②として、札幌市の将来推計人口データ等を用いて2060年までの搬送人員を予測した。札幌市における救急搬送人員は、2060年に17万人台に達するとの予測結果が得られたが、気象の変化については一定の仮説をおいた予測値を用いるなど説明変数にも不確定要素があるため、搬送人員の推移を見ながら結果の確認およびモデルの見直しを適宜行うことが望ましい。

## 参考文献・資料：

- [1] 救急出動状況、札幌市消防局警防部救急課、  
<https://www.city.sapporo.jp/shobo/kyukyu/shutudou/shutudou.html>
- [2] 消防年報、札幌市消防局総務部総務課、  
<https://www.city.sapporo.jp/shobo/nenpou/top.html>
- [3] 令和4年版 救急救助の現況、Ⅱ 救助編、総務省消防庁、  
<https://www.fdma.go.jp/publication/rescue/post-4.html>
- [4] 救急医療週間の実施について、東京消防庁、  
<https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/hp-kouhouka/pdf/220902.pdf>
- [5] 大枝良直、藤本昭、角知憲、致死的内因性疾患と多発外傷における救急車搬送時間と入院30日目生存率のモデルの作成、土木計画学研究講演集 Vol42、2010、  
[http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00039/201011\\_no42/pdf/233.pdf](http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00039/201011_no42/pdf/233.pdf)
- [6] 鮎川勝彦、前原潤一、上津原甲一、島弘志、有村敏明、高山隼人、藤本昭、救急車搬送患者の搬送時間と自宅退院率の関係、日本救急医学会雑誌 17(3)、92-98、2006、  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjaam1990/17/3/17\\_3\\_92/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjaam1990/17/3/17_3_92/_pdf/-char/ja)
- [7] 清田和也、武井秀文、熊谷渉、田中大、浜谷学、埼玉県における救急現場へのICT導入と医療機関の受入体制整備が救急搬送状況に与えた効果について、日本臨床救急医学会誌、vol.21、no.6、pp.729-734、2018、  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsem/21/6/21\\_729/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsem/21/6/21_729/_pdf/-char/ja)
- [8] 東京消防庁の救急隊、東京消防庁、  
<https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/ts/ems/page07.html>
- [9] 将来推計人口（令和4年推計）、札幌市まちづくり政策局政策企画部企画課、  
<https://www.city.sapporo.jp/toukei/jinko/shourai-sukei.html>
- [10] リアルタイムな救急需要予測等による救急車の搬送時間短縮をめざす、NTT、  
[https://www.rd.ntt/research/JN20190470\\_h.html](https://www.rd.ntt/research/JN20190470_h.html)
- [11] 救急需要予測 AI システム、日立、  
<https://www.hitachi.co.jp/Prod/comp/app/shobo/prediction.html>
- [12] AIを活用した救急隊の現場到着時間短縮に向けた実証実験に関する協定を締結しました！、川崎市報道発表資料、令和4年6月14日、  
<https://www.city.kawasaki.jp/templates/press/cmsfiles/contents/0000141/141111/houdouhappyou.pdf>
- [13] 救急到着時間短縮で AI 活用 要請集中地域を予測 川崎市が千葉企業にシステム製作委託、THE SANKEI NEWS、  
<https://www.sankei.com/article/20230117->

[HU5PFQPPCFKN5FCCBRL2MRSR4Q/](https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/kento019.html)

- [14] 平成 22 年度 救急業務高度化推進検討会報告書、総務省消防庁、  
[https://www.fdma.go.jp/singi\\_kento/kento/kento019.html](https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/kento019.html)
- [15] 平成 22 年度 救急業務高度化推進検討会報告書 第 8 章 救急搬送の将来推計、総務省消防庁、  
[https://www.fdma.go.jp/singi\\_kento/kento/items/kento019\\_09\\_8.pdf](https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/kento019_09_8.pdf)
- [16] 片岡源宗、吉井稔雄、二神透、大口 敬、救急救命搬送需要予測手法の構築、土木学会論文集 D3 (土木計画学)、Vol71、No.5 (土木計画学研究・論文集第 32 巻)、I\_407-I\_414、2015、  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejipm/71/5/71\\_I\\_407/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejipm/71/5/71_I_407/_pdf/-char/ja)
- [17] データサイエンスにより救急需要を予測しました ～2030 年の救急車の出場件数は～、消防局救急課・横浜市立大学、横浜市記者発表資料、平成 29 年 12 月 6 日、  
<https://www.city.yokohama.lg.jp/city-info/koho-kocho/press/shobo/2017/20171206-019-26643.files/phpYHJ3HT.pdf>
- [18] 「雪道の自己転倒」救急搬送、札幌市、  
<http://www.city.sapporo.jp/shobo/kyukyu/yukimiti/yukimiti.html>
- [19] 推計人口、札幌市まちづくり政策局政策企画部企画課、  
<https://www.city.sapporo.jp/toukei/jinko/suikai-jinko/suikai-jinko.html>
- [20] 住民基本台帳人口、札幌市まちづくり政策局政策企画部企画課、  
<https://www.city.sapporo.jp/toukei/jinko/juuki/juuki.html>
- [21] 人口動態、札幌市まちづくり政策局政策企画部企画課、  
<https://www.city.sapporo.jp/toukei/jinko/jinko-dotai/jinko-dotai.html>
- [22] 将来推計人口に基づく地域分析調書～戦略的地域カルテ・マップ～、札幌市市民文化局市民自治推進室市民自治推進課、  
<https://www.city.sapporo.jp/shimin/jichi/karute/senryakukarute.html>
- [23] 過去の気象データ・ダウンロード、国土交通省気象庁、  
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- [24] 日本の気候変動 2020— 大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書 一、文部科学省・気象庁、2020 年 12 月、  
[https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/2020/pdf/cc2020\\_honpen.pdf](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/2020/pdf/cc2020_honpen.pdf)
- [25] 石狩地方の気候変動、「日本の気候変動 2020」(文部科学省・気象庁)に基づく地域の観測・予測情報リーフレット、札幌管区气象台、令和 4 年 3 月、  
<https://www.data.jma.go.jp/sapporo/bosai/publication/kiko/kikohendo2020/>

[leaflet/14\\_ishikari.pdf](#)

- [26] Python とは, Python Japan, <https://www.python.jp/pages/about.html>
- [27] Tensorflow, <https://www.tensorflow.org>
- [28] TFlearn, <http://tflearn.org>
- [29] Keras, <https://keras.io/ja/>
- [30] Prechelt, Lutz. Automatic early stopping using cross validation: quantifying the criteria., Neural Networks 11.4, pp.761-767, 1998.
- [31] 高橋尚人、丹治和博、小松麻美、新型コロナウイルス感染症の影響を考慮した「雪道の自己転倒」による救急搬送者数の予測に関する研究、寒地技術論文・報告集 Vol.37、2021.
- [32] 国民の祝日について、内閣府、  
<https://www8.cao.go.jp/chosei/shukujitsu/gaiyou.html>
- [33] よくある質問 質問 3-1) 何年後かの春分の日・秋分の日はわかるの?、国立天文台、  
<https://www.nao.ac.jp/faq/a0301.html>
- [34]