

令和5年度 姫路市大学発まちづくり研究助成事業

## 救急搬送体制分析業務

報告日：令和6年3月

芝浦工業大学 システム理工学部 社会システム科学研究室

亀井 雄貴

市川 学 教授

# 目次

<b>1</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	救急搬送困難	1
1.2	政策立案の実現手段としての ABSS	1
1.3	先行・関連研究	2
1.3.1	搬送困難の解消に向けた研究	2
1.3.2	救急医療に対して ABSS を用いた研究	2
1.3.3	先行・関連研究のまとめ	2
1.4	目的と意義	3
<b>2</b>	<b>方法論</b>	<b>4</b>
2.1	概要	4
2.2	SOARS Toolkit	4
2.3	HEARTS 救急搬送データ	5
<b>3</b>	<b>分析</b>	<b>6</b>
3.1	全データに対する基礎集計	6
3.2	搬送困難の地域性	9
3.3	ロジスティック回帰モデルによる要因推定	11
3.4	シミュレーション使用データに対する基礎集計	12
3.5	救急搬送の傾向	15
<b>4</b>	<b>シミュレーション</b>	<b>18</b>
4.1	シミュレーション初期設定	18
4.2	モデルの概要	18
4.2.1	人間エージェント	19
4.2.2	救急車両エージェント	20
4.2.3	消防局・消防署スポット	20
4.2.4	医療機関スポット	20
4.3	救急需要発生確率	22
4.3.1	救急隊出動事案の発生確率	22
4.3.2	救急搬送事案の発生確率	22
4.3.3	事故種別の傷病確率	23
4.3.4	性・年齢別の傷病確率	23
4.3.5	傷病程度の確率	23
4.3.6	本モデルにおける救急需要の発生確率	23
4.4	ベースシナリオ	24
4.5	分散搬送シナリオ	25
<b>5</b>	<b>結論</b>	<b>27</b>
5.1	考察	27
5.2	結論	27
5.3	今後の展望と課題	27

## 図目次

2.1	全体概要図	4
-----	-------	---

3.1	5歳階級別の患者数のヒストグラム	7
3.2	月別・時間帯別による搬送数ヒートマップ	7
3.3	トリアージと年齢の集計値によるヒートマップ	8
3.4	事故種別・緊急度の集計値によるヒートマップ	8
3.5	半径500mでの搬送困難事案数に基づくヒートマップ	9
3.6	半径500mのクラスタリングによる搬送困難事案数の集計	9
3.7	市区町村ごとの医療機関別の応答内容(割合)	10
3.8	市区町村ごとの医療機関の応答内容(集計値)	10
3.9	混同行列	11
3.10	回帰係数	12
3.11	1年間の搬送状況	13
3.12	月別の搬送総数と搬送困難事案数	13
3.13	月別・照会科目別の搬送困難事案数	14
3.14	月別・照会科目別の緊急度別患者数	14
3.15	特徴量毎の回帰係数(2022/6:内科)	15
3.16	特徴量毎の回帰係数(2023/1:内科)	15
3.17	1年間の医療機関別の搬送件数	15
3.18	2022年6月夜における内科輪番病院の救急隊の選定理由	16
3.19	2023年1月夜における内科輪番病院の救急隊の選定理由	16
3.20	2022年6月夜における内科輪番病院の応答内容	17
3.21	2023年1月夜における内科輪番病院の応答内容	17
3.22	2022年6月夜の緊急度別の受け入れ数	17
3.23	2023年1月夜の緊急度別の受け入れ数	17
4.1	シミュレーション全体概要図	18
4.2	救急車両エージェントによる医療機関選定のフローチャート	21
4.3	医療機関による照会時の対応	22
4.4	診療科目別の患者発生数(HEARTS搬送データ)	24
4.5	診療科目別の患者発生数(シミュレーション)	24
4.6	医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数(HEARTS搬送データ)	24
4.7	医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数(シミュレーション)	24
4.8	診療科目別の搬送困難事案数(HEARTS搬送データ)	25
4.9	診療科目別の搬送困難事案数(シミュレーション)	25
4.10	医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数(分散シナリオ)	26
4.11	診療科目別の搬送困難事案数(分散シナリオ)	26
4.12	内科輪番病院の緊急度別の受け入れ数(ベースシナリオ)	26
4.13	内科輪番病院の緊急度別の受け入れ数(分散シナリオ)	26

## 表目次

2.1	HEARTS搬送データの概要	5
3.1	医療機関マスク処理対応表	16
4.1	シミュレーションにおける初期設定	18
4.2	オブジェクトの一覧	19
4.3	ロールの一覧	19
4.4	ルールの一覧	19
4.5	輪番システムと対応する診療科目	20
4.6	分散対象の医療機関	25

4.7 照会 4 回目以上の場合に対象とする医療機関 . . . . .	25
4.8 シナリオごとの平均照会回数及び平均現場滞在時間 . . . . .	26

# 1 序論

## 1.1 救急搬送困難

救急医療の分野で注目されている問題の一つに、救急搬送困難事案の増加がある。救急搬送困難事案とは、救急搬送時の医療機関への照会回数が4回以上かつ、現場滞在時間が30分以上の2つの条件を満たす搬送と定義 [1] されている。救急搬送困難事案は、新型コロナウイルス感染症流行によるパンデミックの発生に伴って大きく増加し、メディアを通して大々的に報道 [2][3] された。

2020年から2023年までを対象とした全国における搬送困難事案の状況調査 [1] によると、パンデミック下における搬送困難事案の発生件数は増加しており、2020年では2000件程度であったのに対し、2022年では8000件を超える発生件数が報告されている。こうした増加は一時的なものであるように見られたが、WHOによる終息宣言 [4] が発表され、5類感染症へと移行 [5] した2023年5月前後においても、依然として高い発生件数が報告されている。同調査結果における新型コロナ疑い事案数が占める割合が少ないことや、パンデミック以前の増加傾向を考慮すると、救急医療体制を取り巻く現況に着目する必要がある。

消防白書 [6] によると、救急出動件数及び搬送人員は増加傾向で推移していると報告されている。具体的には、救急自動車によって救急搬送された患者の約65%が急病患者であり、年齢区分別事故種別搬送人員の約62%が高齢者である。また、救急自動車による病院収容所要時間は全国平均で42.8分と、搬送困難件数と比例するように増加の一途を辿っている。こうした増加傾向はパンデミック発生以前に着目した場合にも確認できることから、搬送困難には高齢化の進展による需要増大も多分に影響していると考えられる。

搬送困難事案を防ぐには、救急隊による患者の搬送先医療機関の選定を迅速に行うことが求められる。特に高齢者の疾患には脳疾患や心疾患等の複雑化しやすい症例が多いという特徴 [7] があることから、救急隊による医療機関選定を困難にさせている。そこで各都道府県では、選定時の意思決定を支援するための情報システムの運用 [8] だけでなく、医療機関の負担削減と救急隊の即応性の担保を狙った救急車の適正利用を市民に呼び掛ける [9] などの取り組みが行われた。しかしながら、全国的に依然として高い搬送困難件数が問題となっており、状況を改善するための取り組みが不可欠である。

## 1.2 政策立案の実現手段としての ABSS

政策科学の分野ではEBPM(Evidence-Based Policy Making) と呼ばれる客観的な根拠に基づいた社会政策の立案が推進されている。しかし、社会システムの持つ様々な特性から、医療におけるEBM(Evidence-Based Medicine) のようにランダム化比較試験による効果検証や因果関係の立証は容易ではない。倉橋 (2020)[10] は新たな政策を形成する上では、モデルベースで演繹的に将来を一定範囲で予測可能にするMBPM(Model-Based Policy Making) が有効であるとして、実現手段としてエージェントベース社会シミュレーション (ABSS : Agent-Based Social Simulation) を挙げている。ABSSはエージェントベースモデル (ABM : Agent-Based Model) によって、社会の最小の構成単位として組織や個人をエージェントとしてモデリングし、ボトムアップに社会システムを表現することが可能である。

ABSSによる予測とは、将来に何が起こるのかという意味での予測ではなく、仮定に基づいて将来の状況を見積もる行為としての予測であることに注意したい [11]。これは、先述したように社会システムが組織や個人の諸活動の結果としてシステムの振る舞いが決定するという構造を持っていることから不確実性が高く [12]、将来に何が起こるのかという観点に基づいて予測を行うことは困難であるためである。後藤 (2023)[11] は、不確実性の下で明らかになっている知識に基づいた仮定を置き、その過程から導き出される将来の可能性を明らかにすることで、政策意思決定に役立つためのツールとしてABSSを活用するべきであると述べている。

ここで、ABSSの枠組みで救急医療システムを捉えたい。救急医療システムには医療機関の輪番体制や消防機関による搬送体制などのサブシステムが内包されており、最小の構成単位としては行為主体である救急隊や医師が該当する。こうしたミクロな行為主体による活動の相互作用による創発現象としてマクロなレベルの事象が表出する。すなわち、救急医療における問題として表出しているのが搬送困難事案である。また、システムを取り巻く外部環境としては、パンデミックによる患者数の増加や高齢者人口の増加などが該当し、これらは動的に変化している。搬送困難というマクロな事象の説明はミクロな行為主体の活動に還元されることとなり、解消するためには行為主体の活動すなわち意思決

定や行動を変容させるように作用する介入施策を設計・立案することが求められる。

### 1.3 先行・関連研究

ここでは、搬送困難事案の要因に対する分析や、救急医療システムに対して ABSS による政策の検討を行った研究について概観する。

#### 1.3.1 搬送困難の解消に向けた研究

搬送困難の要因を分析した着目した研究を概観すると、患者、医療機関、救急搬送体制に着目した分析が行われていた。

まず、患者の特徴に着目した研究では、鈴木ら (2010)[13] は、患者の特徴をロジスティック回帰分析で抽出し、現場滞在時間と搬送所要時間が延長する患者の特徴は入院を要する患者であるとしている。また、熊谷ら (2018)[14] は、覚知時刻・場所、救急隊判断程度について二項ロジスティック回帰分析を行い、外傷・熱傷・中毒の場合には重症以上の患者は中等症以下の患者に比べて病院選定困難になりやすいことを明らかにしている。

次に、芦田 (2014)[15] による医療機関側からの検討を行った研究では、心肺停止 (CPA) 症例対応中を含む複数患者受入中、当該科医師対応不能、救急病棟・集中治療室 (ICU) 満床の 3 つの要因が搬送困難事案の主因であると結論付けている。

救急搬送体制としては、鈴木ら (2015)[16] は主成分分析によって救急医療の需要増大と医療資源の供給不足が主因としている。また、中尾ら (2015)[17] は、搬送患者登録システムから得られた個別症例レベルの記録を用いて、搬送先困難事例を個別に検証しており、消防の病院前活動、医療機関の受け入れ対応、救急医療体制のそれぞれの場面におけるセーフティーネットの機能不全が問題であったと結論付けている。

#### 1.3.2 救急医療に対して ABSS を用いた研究

次に、救急医療体制を社会システムとして捉えて、ABSS を用いた救急医療体制の評価と施策の効果検証を行った事例について概観する。

市川ら (2014)[18] は、ABM を用いて、夜間救急医療における患者の発生から診療の終了までの一連のプロセスを表現可能なモデルを構築している。このモデルでは、患者の受療行動と医療サービスを反映したモデルを構築して、輪番制の有効性と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、患者が同時に複数人発生しない点や、複数の地域で検証を行っていない点などから、現実社会への適用の有用性を示すには不十分であるとしている。

不動ら (2016)[19] は、市川らが構築したモデルを再構築し、患者の同時発生や仮想の二次医療圏を想定した複数地域での検証を行い、モデルを現実社会へ適用する有用性を示している。しかし、搬送時間の算出を患者と病院間の直線距離で行っている点や、救急医療を要請してから医療機関へ収容されるまでの時間が考慮されていない点などが課題として挙げられている。

金谷ら (2013)[20] は、ABM によって夜間救急医療モデルを構築して医療政策シミュレーションを行っている。金谷らが構築したモデルでは、二次医療圏の人口分布および医療機関等の配置を地理情報から取得することで現実に沿ったものになっている。また、シミュレーション結果を用いて、地域医療連携を構築する上で考慮すべき要素と病床再編に考慮すべき課題を示している。

#### 1.3.3 先行・関連研究のまとめ

文献調査の結果から、パンデミック以前から様々な搬送困難事案に対して様々な検討が為されており、特に個別症例レベルに着目した検証が有効であると示されている。しかしながら、パンデミック以後における増加事例も含めた搬送困難の要因を検証した研究や、具体的にどのような施策を導入すべきなのかまでを論じた研究は見当たらない。また、救急医療体制に対する ABM によるアプローチは一定の有用性を示していることが報告されているが、搬送困難そのものに着目して取り組まれた研究は見当たらない。

## 1.4 目的と意義

本研究の目的は、救急医療における搬送困難事案の解消に向けた政策立案や設計の支援を行うことである。

救急医療体制は、多様なステークホルダーに加えて動的に変化する外部環境によって複雑な様相を呈しており、救急医療における政策立案者は高い不確実性の下で意思決定を行う必要がある。

そこで、本研究では、救急医療における患者発生から患者退院までの一連のプロセスを表現可能なシミュレーションを構築する。政策設計者の導入したい政策をシナリオとしてシミュレーションモデルを構築することで、救急医療体制がどのような挙動を示すのか確認可能にし、政策立案の一助となることが期待できる。具体的な例としては、変更可能なパラメータとして救急車の台数や輪番体制、搬送先の決定方法などが挙げられる。これにより、例えば救急車の台数の増減による影響を分析や、将来的な人口減少に伴う救急需要の変化、病院統廃合による定量的な効果検証などをシミュレーション上で行うことが可能となる。

特に本研究では、具体的に取り組む問題として、救急搬送困難を取り上げる。構築した ABSS 実行環境下にて、搬送困難事案を減少させるための施策を設計・導入した際の効果を検証する。

## 2 方法論

### 2.1 概要

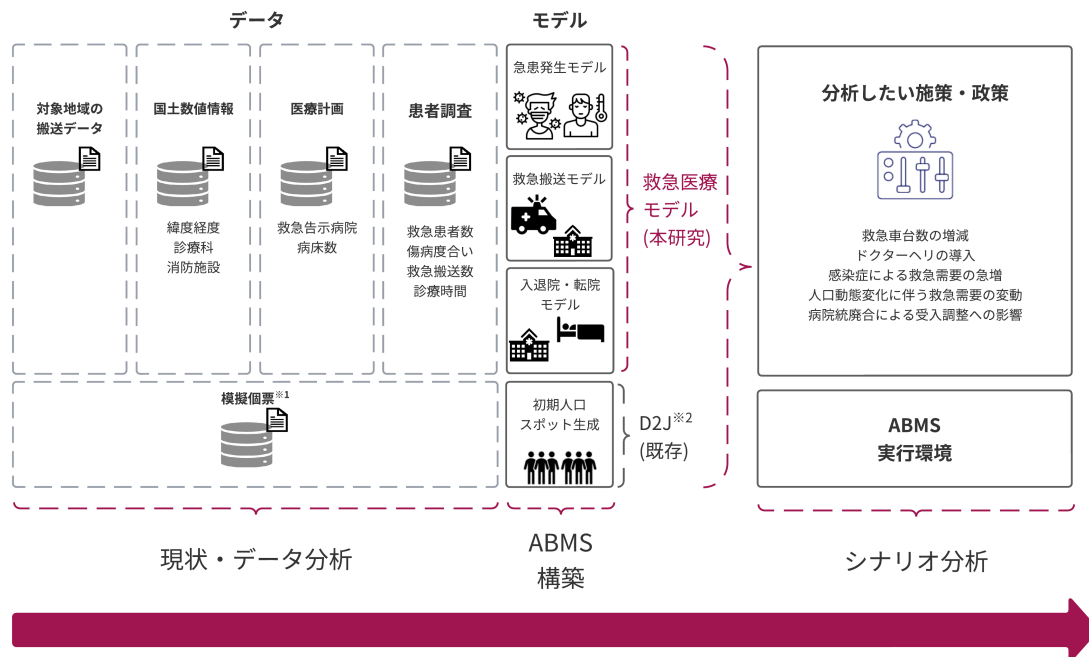


図 2.1 全体概要図

本研究は、図 2.1 に示すように現状・データ分析、ABSS の構築、シナリオ分析の 3 段階で行う。まず、現状・データ分析では、対象とする地域の搬送データや患者調査、医療計画等を用いて ABSS 構築とシナリオ分析に必要なデータを整理・分析する。

次に、これらのデータから得られた知見を基に ABSS の構築を行う。ABSS の構築には、Java 言語で利用可能なエージェントベース・モデリング&シミュレーションライブラリである SOARS Toolkit[22] を用いる。また、シミュレーション内の初期人口生成には、原田ら (2019) の模擬個票 [23] を用いる。模擬個票は、国勢調査等の統計データに基づく仮想的な大規模世帯合成データである。

最後に、ABSS を用いたシナリオ分析を行う。本研究では、搬送困難を解消することが可能であると思われる施策をデータ分析等の結果から設計し、その効果をシミュレーション上で実行して、シミュレーションモデルの妥当性とシナリオ検証可能性を確認する。

### 2.2 SOARS Toolkit

SOARS Toolkit は、スポット、ロール、ステージという概念に基づく ABM を実装するための Java ライブラリである。SOARS Toolkit では特殊なオブジェクトとして、行為主体である「エージェント」またはエージェントの存在の場としての「スポット」が定義される。スポットは病院や会社等の物理的な空間から社会コミュニティといった抽象的な空間を表現可能であり、エージェントの相互作用の場として機能する。基本的にエージェントは特定の時間に 1 つのスポットに存在する。これらオブジェクトの状態を表す属性と「ルール」の集合として「ロール」が定義される。ロールは 1 つのオブジェクトに対して複数付与させることが可能であり、オブジェクトの多面的な振る舞いや状態を表現可能である。そして、ルールはロールの振る舞いを記述することが可能である。SOARS Toolkit におけるシミュレーション内の時間は「ステップ」と呼称される離散値で管理される。更に同一時間内において、ルールの実行を制御するための「ステージ」が存在する。ルールは任意のステップとステージに実行を予約することができ、これによってオブジェクトの挙動を制御する。



## 2.3 HEARTS 救急搬送データ

本研究では、救急搬送データの提供を受けた兵庫県姫路市をケーススタディとして、シミュレーションモデルの構築を行う。

姫路市では搬送困難の解消に向けて、HEARTS と呼ばれる情報システムを用いて、救急医療における搬送部分に関するデータを収集し分析を行っている。この HEARTS システムには姫路市消防局だけでなく、救急告示病院等の救急医療体制を構築している医療機関から、播磨姫路医療圏の赤穂市消防局や西はりま消防組合も参加している。現場では、搬送時に救急隊が HEARTS に患者の容態や照会科目を送信することで、システムに参加している一部の医療機関の応需状況を把握することができる。よってこのデータは、救急隊による患者の覚知から病院への引き渡しまでを対象とした個別症例に基づく搬送記録である。表 2.1 に提供を受けた搬送データの概要を示す。医療機関による搬送患者の受け入れ可否によってデータが分かれており、それぞれのレコード数は、受け入れデータが 78,699 件、受け入れ拒否データが 51,739 件である。受け入れデータには、患者の性・年齢、緊急度、傷病種別、初診時傷病程度、傷病者背景、搬送先医療機関、照会科目、要請順、搬送先選定理由、照会時に照会可能であった診療科目、覚知時間、現発時間、収容時間など、搬送時における詳細な情報が入力されており、カラム数は 126 件に及ぶ。また、受け入れ拒否データは一部が受け入れデータと同等のものであるが、拒否理由、応需不一致、選定理由、要請順などを含めた 63 件のカラムが存在する。

表 2.1 HEARTS 搬送データの概要

データ概要		
	受け入れデータ	拒否データ
レコード	78699	51739
カラム	126	63
集計期間	2021/09 ~ 2023/07	

## 3 分析

### 3.1 全データに対する基礎集計

提供を受けた全期間の HEARTS の搬送データを用いて、基礎集計を行った。患者に着目し、5 歳階級別に人口を集計したものを図 3.1 に示す。図 3.1 によると、患者の年齢の中央値は 74 歳、第 1 四分位数は 48 歳、第 3 四分位数は 80 歳となっており、患者の多くが後期高齢者であることが窺える。

次に、2 軸の集計値から各種ヒートマップを作製したものを図 3.2、図 3.3、図 3.4 に示す。それぞれ、緑が集計値が小さく、赤が集計値が多いことを表している。図 3.2 によると、全体の傾向として、朝 9 時から夕方 19 時までの搬送数が多く、深夜帯の 0 時から 5 時にかけての夜間救急の時間帯は搬送数が少ない。この傾向を顕著に示しているのが、1 月の朝 9 時から昼 13 時にかけての時間帯である。また、季節性の観点では、10 月から 4 月にかけての比較的寒気な季節においては、6 月から 9 月の陽気な季節と比べて、全体的な搬送数が多い。これには、冬場においてはインフルエンザ等の感染症の流行が活発化しており、特に 2022 年 1 月と 2023 年 1 月は新型コロナウイルスによる流行が広まった時期とも重なっていることが影響していると考えられる。

次に、年齢と緊急度の関係を表したものを事故種別と緊急度の関係を集計値を元にヒートマップで表したものが図 3.3 と図 3.4 である。これによると、緑や黄の患者は全年齢を通して多くの搬送件数が集計されている一方で、白と赤の患者の集計値は少ない。特に、緊急度が黄色であり、70 歳以上 90 歳以下の患者の搬送数が最も多い。また、全ての事故種別において、最も多いカテゴリは急病よる患者である。特に緊急度が黄の入院を要する患者が最も多い。これは市の公開する救急統計においても同様の結果が得られている。

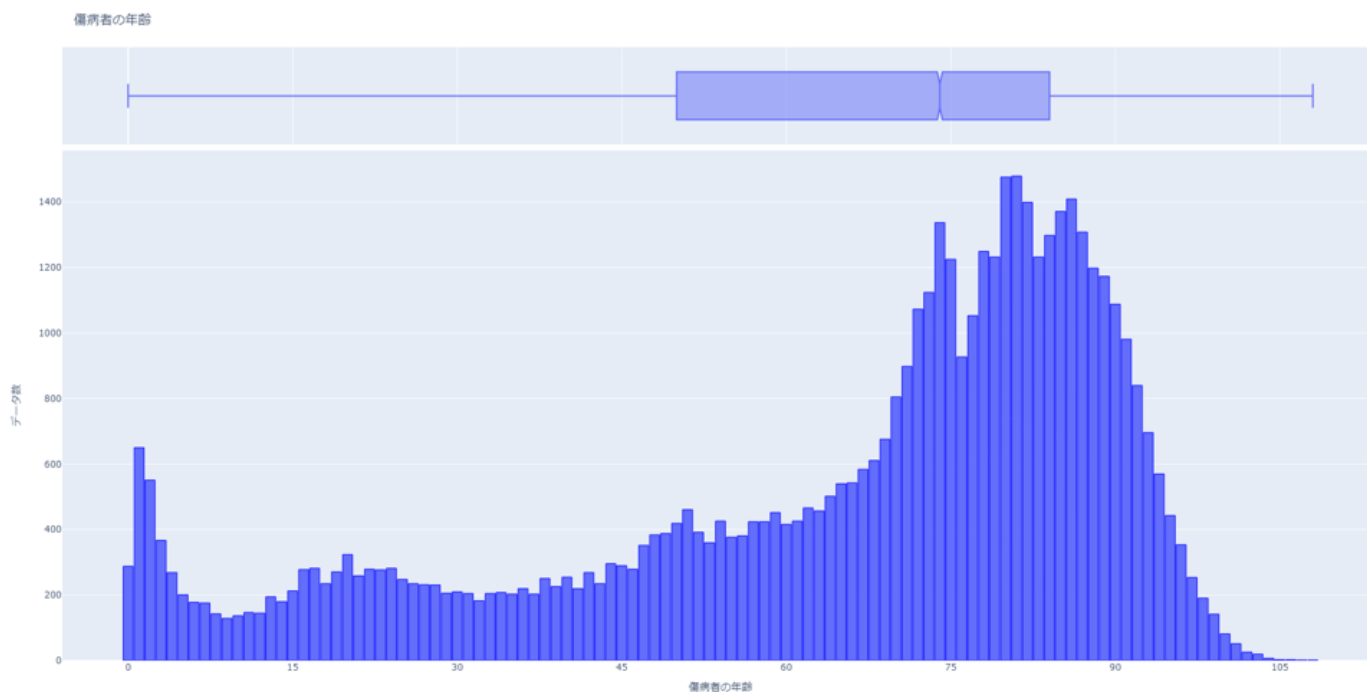


図 3.1 5 歳階級別の患者数のヒストグラム

時/月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
0時	359	248	246	252	248	232	140	203	138	286	284	276	2912
1時	236	189	231	195	187	194	133	148	108	169	178	230	2198
2時	223	193	155	184	159	207	107	102	118	195	191	203	2037
3時	200	146	155	183	160	142	102	88	92	163	162	185	1778
4時	237	114	118	145	187	134	112	99	57	164	124	182	1673
5時	199	167	113	142	186	131	111	124	80	165	131	171	1720
6時	243	166	196	215	247	206	137	189	77	162	191	235	2264
7時	353	267	226	302	270	222	212	203	126	285	288	363	3117
8時	478	409	334	383	373	337	257	261	176	339	310	376	4033
9時	619	483	470	415	435	388	307	275	242	374	417	540	4965
10時	649	495	476	475	450	419	292	285	233	465	439	534	5212
11時	659	497	512	462	438	433	307	272	233	393	407	521	5134
12時	651	490	471	416	453	390	336	302	183	389	461	565	5107
13時	615	465	429	394	411	350	297	267	231	424	423	528	4834
14時	550	481	427	421	388	376	255	278	199	384	398	529	4686
15時	452	382	420	370	416	353	274	232	220	393	374	516	4402
16時	509	475	419	450	410	334	277	307	237	408	430	483	4739
17時	548	516	440	405	464	375	295	284	248	408	488	517	4988
18時	575	543	496	506	530	458	282	341	218	404	448	641	5442
19時	620	528	534	475	514	452	331	352	228	490	472	538	5534
20時	518	429	509	463	512	412	302	280	170	437	505	456	4993
21時	517	439	409	378	428	370	250	261	227	376	387	476	4518
22時	420	410	304	331	369	313	224	232	204	304	379	390	3880
23時	362	279	238	303	311	257	170	130	171	297	269	333	3120
合計	10792	8811	8328	8265	8546	7485	5510	5515	4216	7874	8156	9788	93286

図 3.2 月別・時間帯別による搬送数ヒートマップ

年齢/緊急度	白	緑	黄	赤1	赤2	合計
0~4歳	70	1121	830	318	620	2959
5~9歳	26	573	384	117	183	1283
10~14歳	40	555	459	62	139	1255
15~19歳	74	1012	895	168	271	2420
20~24歳	101	1205	931	207	333	2777
25~29歳	70	888	946	122	271	2297
30~34歳	59	683	889	133	250	2014
35~39歳	50	759	832	169	246	2056
40~44歳	51	845	1062	219	319	2496
45~49歳	63	944	1335	329	467	3138
50~54歳	85	1205	1666	380	551	3887
55~59歳	63	1019	1639	432	587	3740
60~64歳	100	1133	1833	655	652	4373
65~69歳	105	1343	2235	766	744	5193
70~74歳	187	2048	4127	1594	1296	9252
75~79歳	178	2160	4633	1604	1352	9927
80~84歳	195	2440	5497	2159	1680	11971
85~89歳	144	2067	5299	2419	1630	11559
90~94歳	51	1215	3594	1632	1163	7655
95~99歳	26	324	1198	677	445	2670
100~104歳	4	24	156	101	53	338
105~109歳	0	6	3	10	7	26
合計	1742	23569	40443	14273	13259	93286

図 3.3 トリアージと年齢の集計値によるヒートマップ

事故種別/緊急度	白	緑	黄	赤1	赤2	合計
一般	267	5696	9192	944	1315	17414
医師搬送	0	0	3	0	1	4
運動	7	231	244	7	25	514
加害	10	115	137	26	54	342
火災	2	44	44	10	20	120
急病	1225	13552	27598	12642	10850	65867
交通	194	3426	2417	362	617	7016
自然	0	11	9	2	0	22
自損	16	143	169	178	128	634
水難	0	5	3	16	1	25
転院	8	9	90	18	28	153
労災	11	329	529	64	220	1153
その他	2	8	8	4	0	22
合計	1742	23569	40443	14273	13259	93286

図 3.4 事故種別・緊急度の集計値によるヒートマップ

## 3.2 搬送困難の地域性

ここでは、搬送困難の地域性を確認するために、提供を受けている HEARTS の全データを対象に、地域ごとの患者発生地点と搬送困難件数を集計し、地理情報可視化ツールの kepler.gl[29] を用いて可視化を行った。集計に際して、1200 弱の発生地域の中心緯度経度を取得し、半径 500 m での搬送困難事案数の集計した際の集計結果を地図上にプロットしている。図 3.5 は、色が黄色に近づくほど搬送困難事案数が多いことを示している。市内の人口密集地を中心に搬送困難件数が多いが、市内から少し北上した辺りの比較的な山間部に位置する場所においても、赤く表示されている。同様のデータに対して、姫路市周辺を拡大して半径 500m におけるクラスタリングを行って、可視化したものを図 3.6 に示す。図 3.6 も同様に、色が黄色に近づくほど、その地域での搬送困難数が多いことを示している。特に、姫路市書写では、60/535 件の搬送困難が発生し、姫路市白浜町では 66/647 件の搬送困難が発生している。いずれも他の地域よりも高い搬送困難事案が起きていることが確認できる。特に、姫路市書写においては、高齢者向けの集合住宅や養護老人ホームが点在していることもあり、搬送困難事案に影響を及ぼしている可能性がある。

次に、市区町村別に医療機関の受け入れに関する応答内容を集計して各割合を示したものを図 3.7 に示す。これによると、高砂市、三田市等の医療圏外における医療機関においては、多くの場合で患者の受け入れが拒否されている。しかしながら、同様に圏外である赤穂市の医療機関においては高い割合で患者を受け入れている。次に、市区町村ごとに医療機関の応答内容で集計した後、多数を占める属性で、市区町村ごとに改めてプロットしたものが図 3.8 である。なお、背景地図は国勢調査の人口に基づき段階的に色分けをしている。図 3.8 によると、多くの市区町村では全体の搬送割合に対して、搬送困難事案数が上回ることはない。しかしながら、宍粟市や岡山県境、姫路市北部においては、搬送総数が少ないものの搬送困難が半数を上回る状況にある。

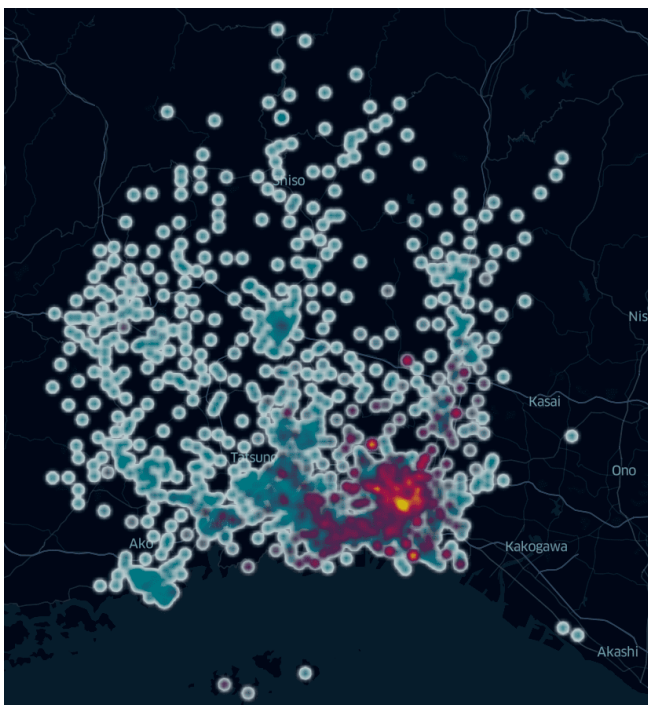


図 3.5 半径 500 m での搬送困難事案数に基づくヒートマップ

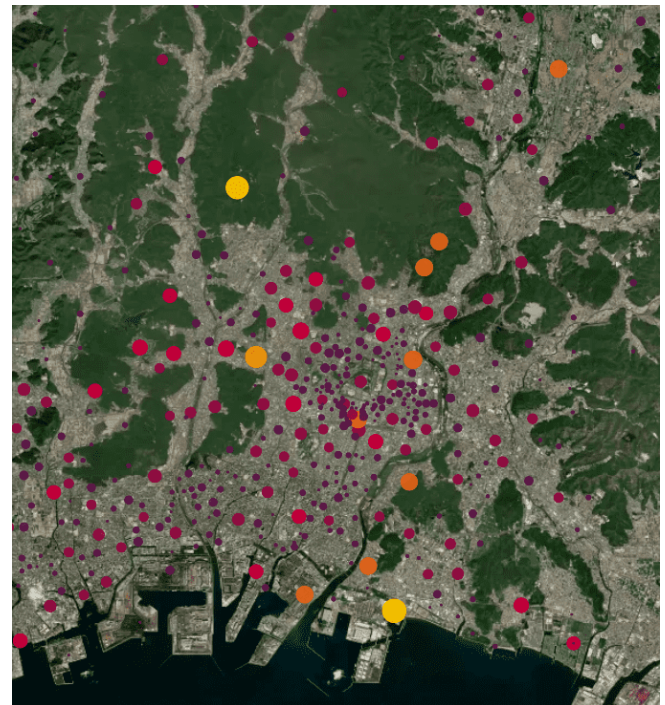


図 3.6 半径 500 m のクラスタリングによる搬送困難事案数の集計

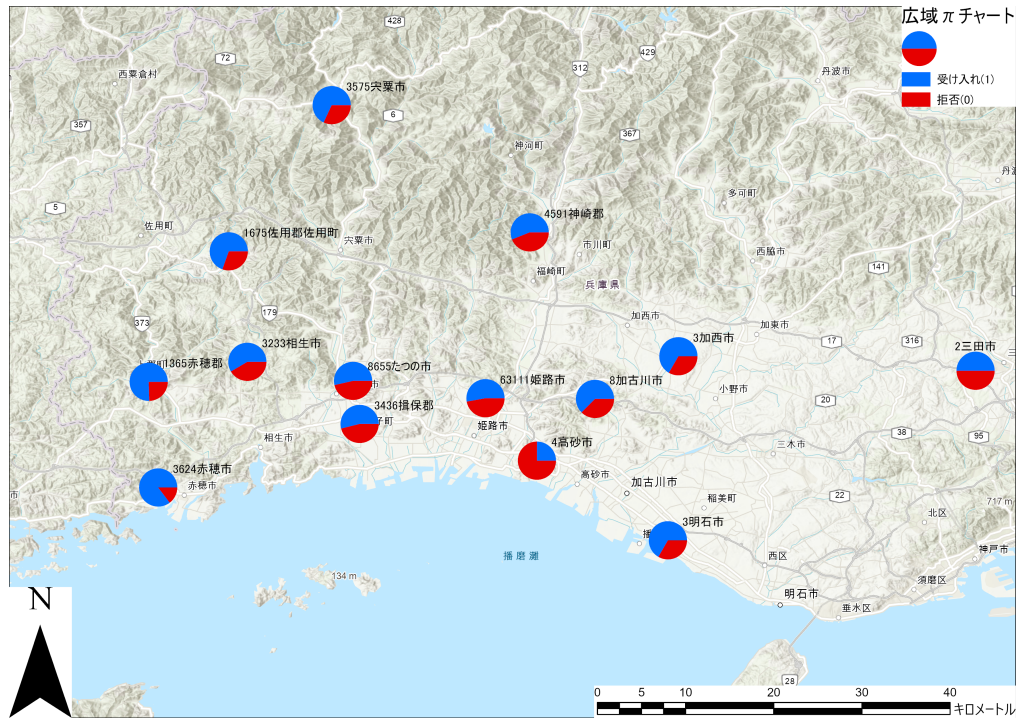


図 3.7 市区町村ごとの医療機関別の応答内容 (割合)

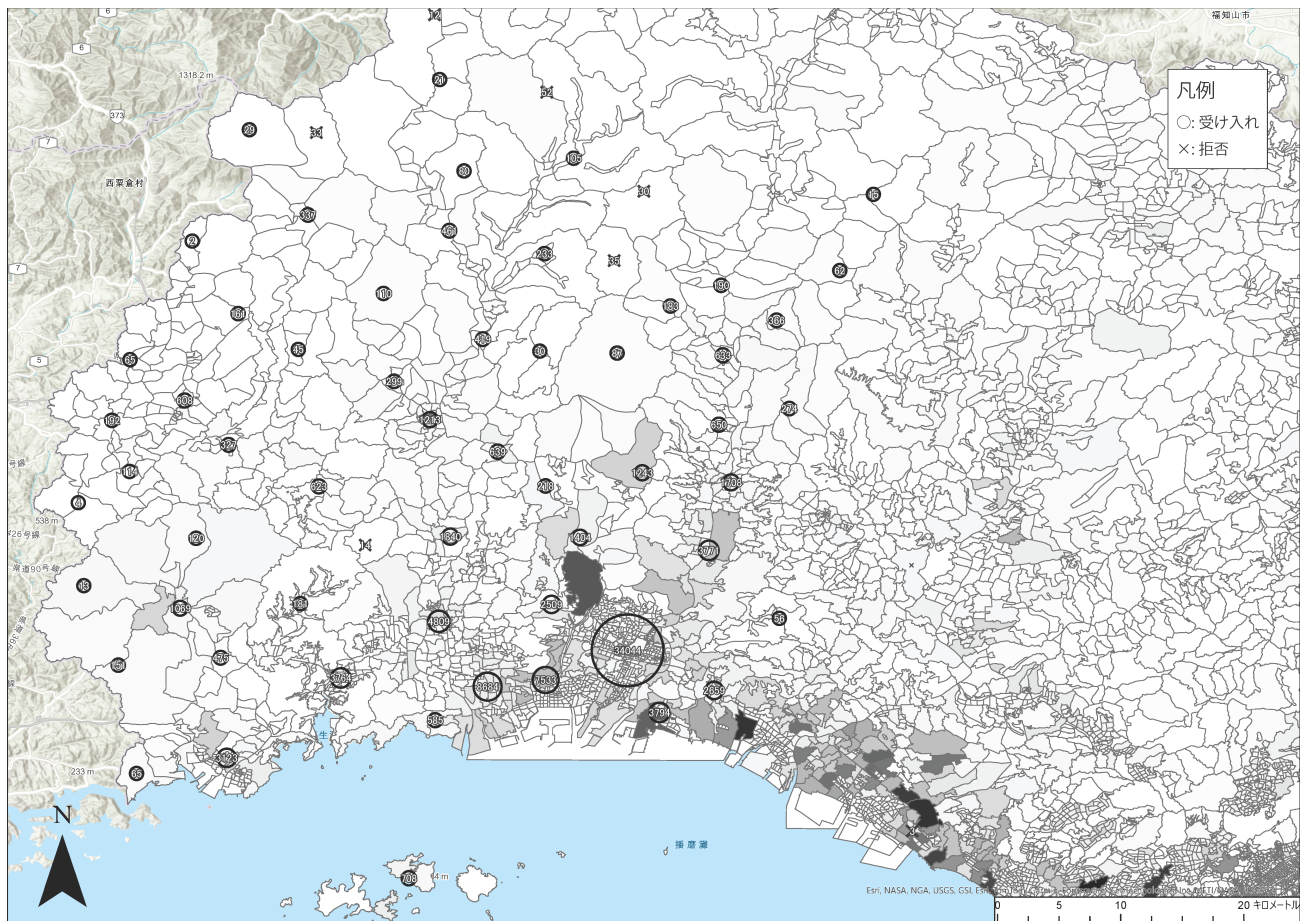


図 3.8 市区町村ごとの医療機関の応答内容 (集計値)

### 3.3 ロジスティック回帰モデルによる要因推定

次に、搬送困難事案という結果に対して影響を与えている医療体制の要因を明らかにするために、提供を受けている HEARTS の全データを対象に、目的変数を搬送困難（0：搬送困難でない、1：搬送困難である）とし、説明変数を曜日、参加医療機関、選定理由、後送病院、輪番病院、地域として、ロジスティック回帰を行った。結果である混同行列を図 3.9 に示す。モデルの正解率は 86% と高い。一方で、再現率に着目すると、12% と低いことから、搬送困難を適切に予測できているとは言い難い。これは、搬送困難の割合がデータ全体に対して低いことも影響していると考えられる。

次に、この結果を用いて、モデルによる予測が行われる際に、各要因が予測に対して及ぼしている影響を測るために、p 値が 5% 有意である特徴量を抽出し、その回帰係数を可視化したものが図 3.10 である。搬送困難が起きやすいとされる要因には、照会先が「圏外その他」または「一般輪番病院」である場合、「西播磨」の医療機関である場合、土曜日である場合の 4 つが主に影響していると考えられる。一方で、搬送困難が起きにくいとされる要因としては、「関係者に連絡済み」、選定理由が「かかりつけ医」または「直近」である場合が挙げられた。以上から、かかりつけ医のように事前に患者を搬送する際の動線が確保されている場合は、搬送困難が有意に起きにくいですが、救急隊による照会先が輪番病院や圏外であるなどの不確実性の高い条件下の場合に搬送困難が起きやすい傾向にある。

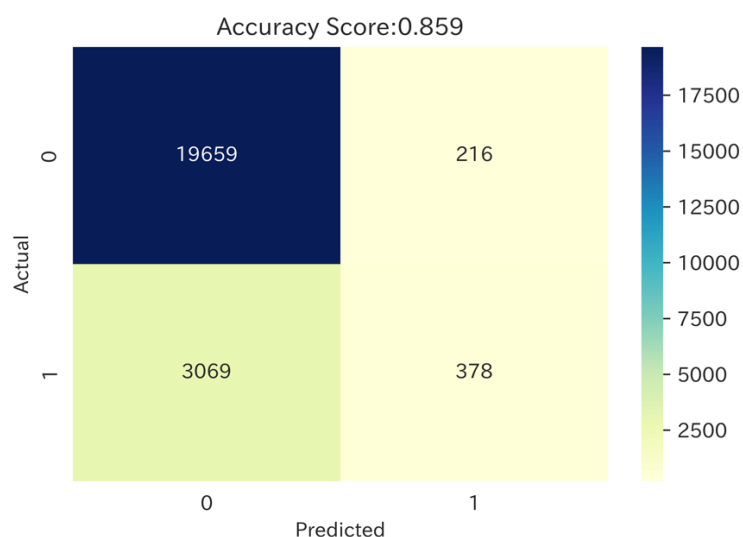


図 3.9 混同行列

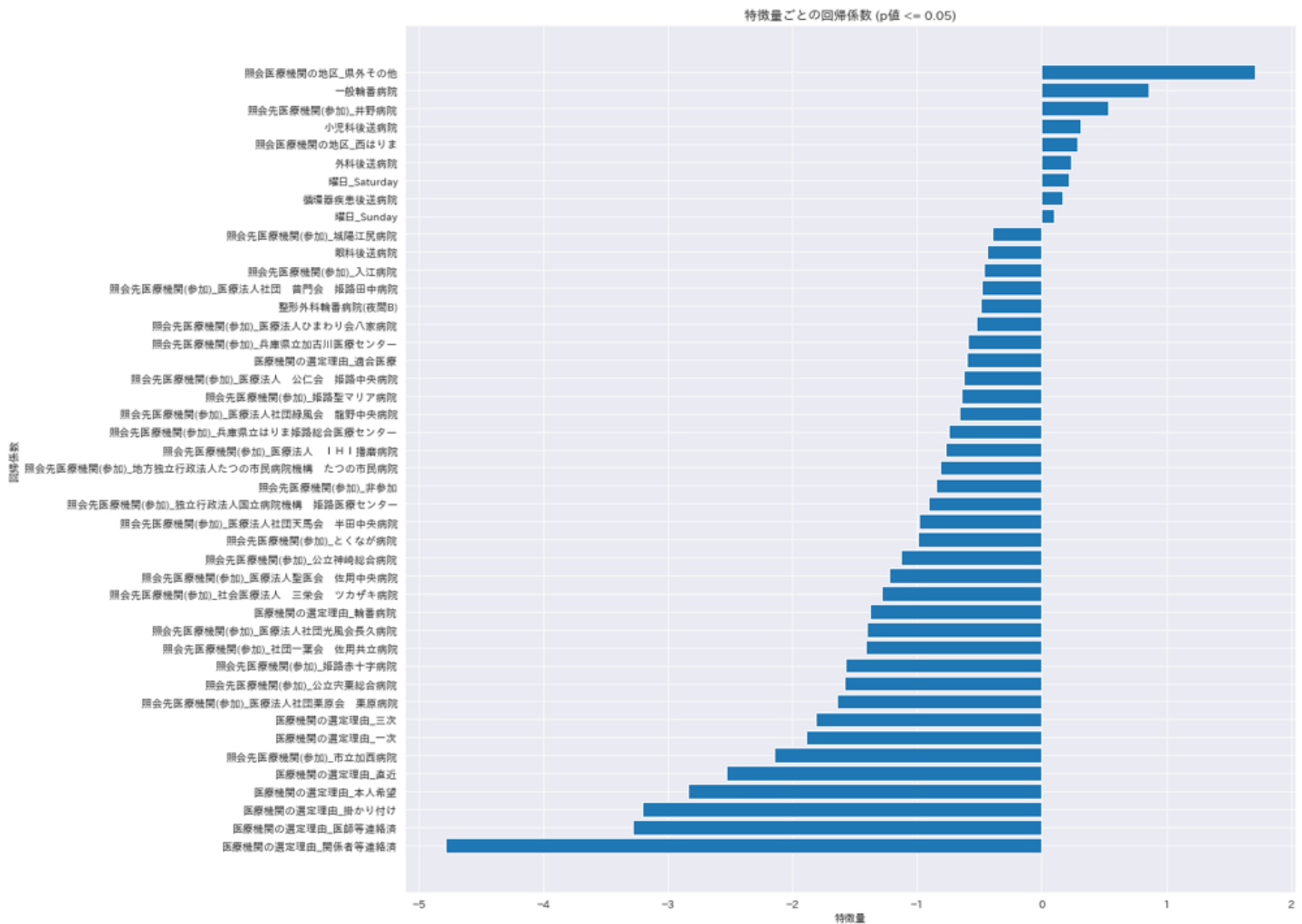


図 3.10 回帰係数

### 3.4 シミュレーション使用データに対する基礎集計

次に、シミュレーションで用いるデータに絞り、集計を行った。対象データは、医療体制に変更のあった 2022 年 5 月以降の一年間において、姫路消防局の管轄する姫路市、神崎郡福崎町、神河町、市川町で発生した救急患者のうち、搬送された患者を対象として集計した 22596 レコードのデータである。

まず、姫路市における 1 年間の搬送総数について可視化したものが図 3.11 である。ここで通常搬送とは搬送困難事案ではない場合を指し、全体の 9 割を占めている。一方、搬送困難事案は 1 割弱である。集計方法に差異はあるものの、これらの数値は市が公表している救急統計上の数値 [28] に近いことから集計結果は妥当であると考えられる。

次に、月別の搬送困難事案数を確認するために、月別の搬送総数と搬送困難事案数を集計したものが図 3.12 である。最も搬送困難数が少ないのは 2022/6 であり、最も搬送困難数が多いのは 2023/1 である。両者間で搬送総数は大きく変わらない一方で、搬送困難事案数には 2 倍近い差があることが確認できる。そこで、搬送困難事案の最も少ない 2022/6 と最も多い 2023/1 における照会科目別の搬送困難事案数を集計したものが図 3.13 である。共通して内科、整形外科、脳外科における搬送困難事案数が多く、それ以外の照会科目では事案数が少ないことが確認できる。この偏りは、通年の場合でも同様であることから、姫路市では 3 つの診療科目に該当する患者が多く、搬送困難事案の発生も集中して起きている傾向にある。特に、1 月の内科の搬送困難事案数が突出して高いことから、この要因を探ることが不可欠である。

搬送困難事案数が多い 3 つの照会科目における緊急度別の患者数を集計したものが、図 3.14 である。ここでの緊急度とは、救急隊が患者に対して行った緊急度判定の結果を指す。救急隊による緊急度判定では、救急患者の容態を白、緑、黄、赤 (赤 1, 赤 2) で表し、赤になるほど緊急度が高く、予断を許さない状況にあることを示している [30]。図によると、脳外科と整形外科の患者は、いずれの緊急度においても大きな変動が見られない。一方で、内科の患者では、2023/1 は 2022/6 と比べて、緊急度の低い患者が少なく、緊急度の高い患者が多い。照会科目と緊急度の関係からは、



1年間の搬送状況(データ数:22596,期間:2022/05~2023/04)

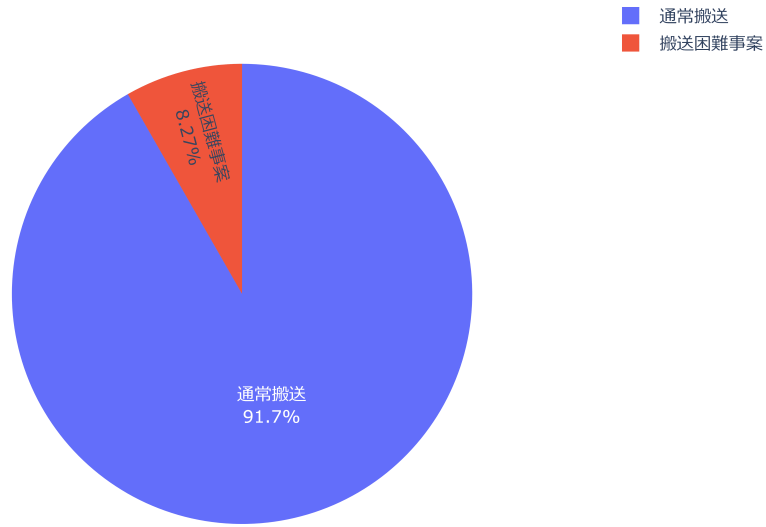
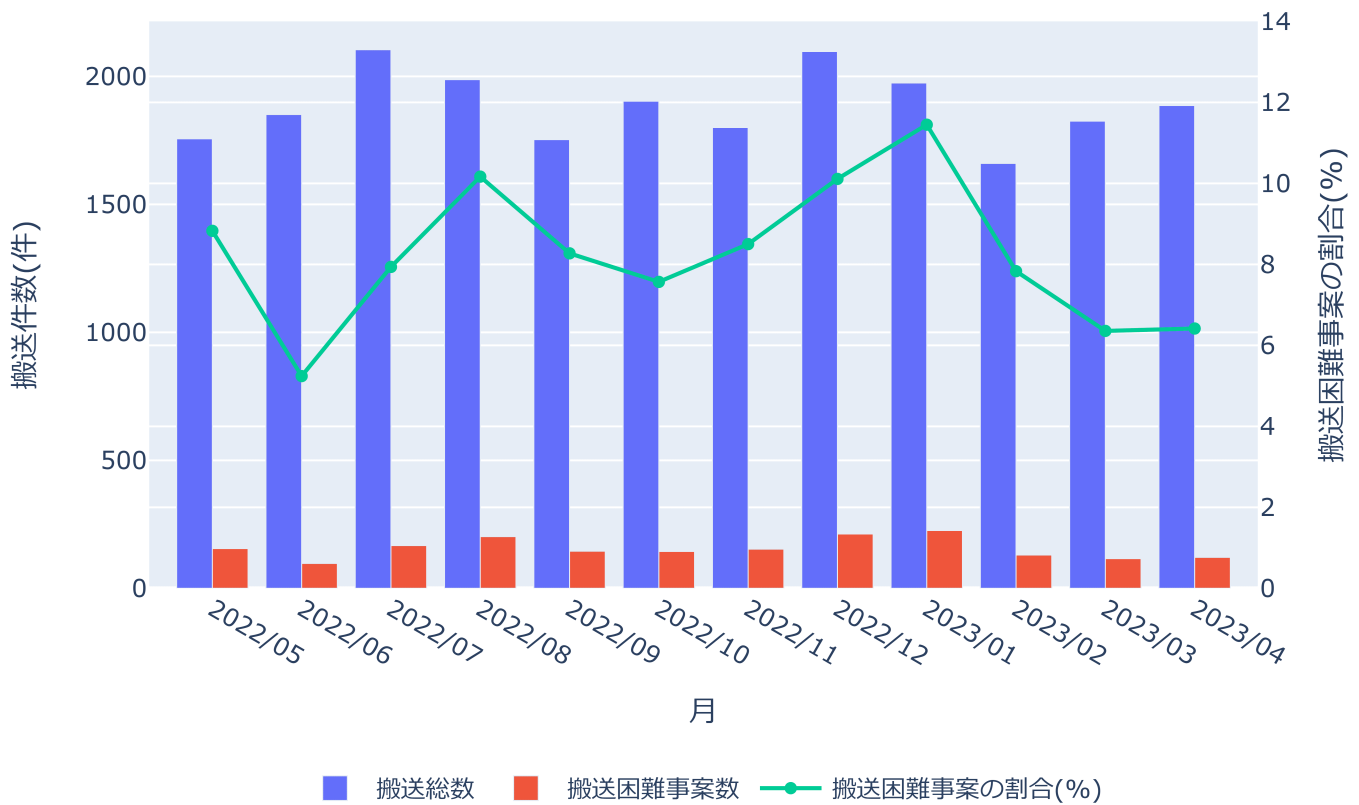


図 3.11 1年間の搬送状況

姫路市と神崎郡の搬送状況(データ数:22596,期間:2022/05~2023/04)



月	2022/05	2022/06	2022/07	2022/08	2022/09	2022/10	2022/11	2022/12	2023/01	2023/02	2023/03	2023/04
搬送困難事案数	151	95	160	197	142	141	150	208	219	129	113	116
搬送総数	1711	1808	2048	1942	1722	1860	1754	2059	1898	1627	1794	1823
搬送困難事案の割合(%)	8.83	5.25	7.81	10.14	8.25	7.58	8.55	10.10	11.54	7.93	6.30	6.36

図 3.12 月別の搬送総数と搬送困難事案数

搬送困難事案数の多い月と少ない月での照会科目別の比較

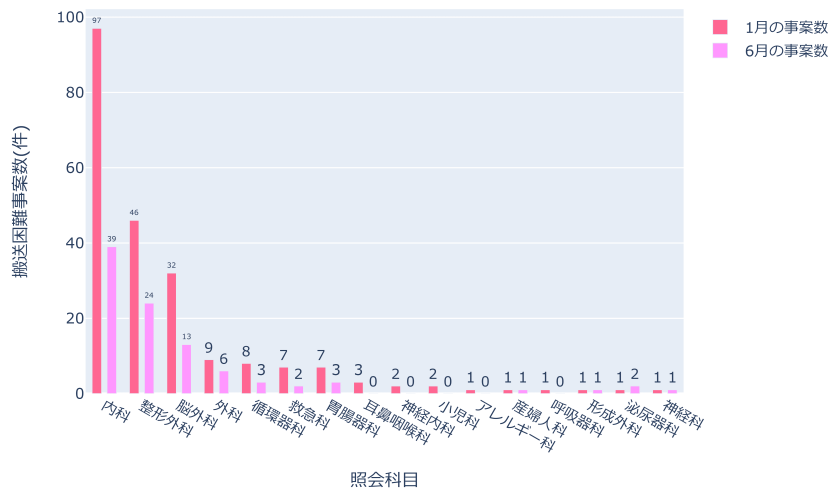


図 3.13 月別・照会科目別の搬送困難事案数

月別・照会科目ごとの緊急度別患者数

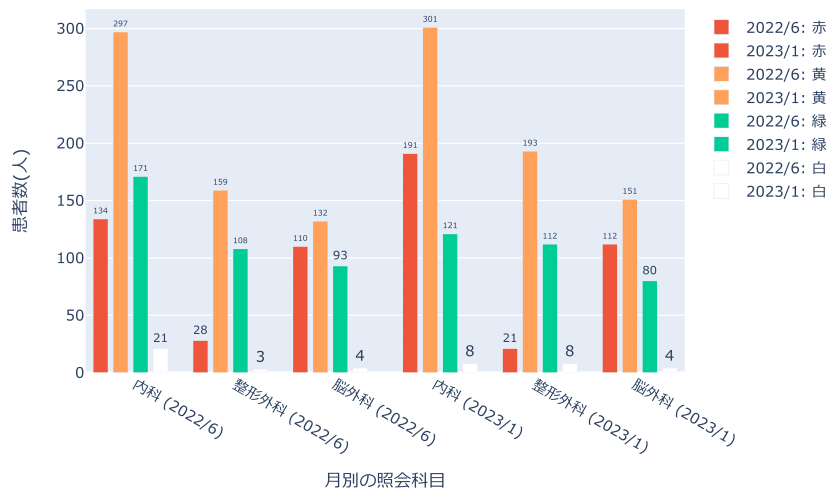


図 3.14 月別・照会科目別の緊急度別患者数

内科において緊急を要する重症患者数が多いほど、搬送困難件数の増加に影響している可能性があることが読み取れる。

そこで、搬送困難を目的変数、平日・休日、昼夜、緊急度（白、緑、黄、赤）、応需一致・不一致、傷病者の性別、傷病者の年齢区分（新生児、乳幼児、少年、成人、高齢者）を説明変数としたロジスティック回帰を行った。本研究では説明変数として、医療機関選定時に救急隊が把握している情報に限定して設定した。このうち、応需の一致とは、救急隊が HEARTS システムを通して確認可能な時々の医療機関の状態である、一般に、応需が一致していれば患者の受け入れに余裕がある場合を指し、不一致ではその逆であり、判定不可の場合は HEARTS システムに参加していない医療機関の場合を指している。

結果から 5% 有意であるとされた説明変数の回帰係数を抽出したものが図 3.15 と図 3.16 である。搬送困難事案の少ない 2022/6 の内科（図 3.15）においては、緊急度が赤の場合に搬送困難になりやすい。一方で搬送困難事案の多い 2023/1 の内科（図 3.16）においては、緊急度に関わらず搬送困難になりやすい。共通して、時間帯が昼の場合においては搬送困難になりにくいことから、特に夜間の救急搬送において医療機関への受け入れが円滑に行われていないことが推測される。総じて、搬送困難事案は、内科、整形外科、脳外科を対象とした搬送業務を行う際に起きており、最も搬送困難数が多い内科においては、緊急度の高い患者が多い程、搬送困難となる傾向が強くなることが認められる。

6月内科における特徴量ごとの回帰係数 (p値 <= 0.05)

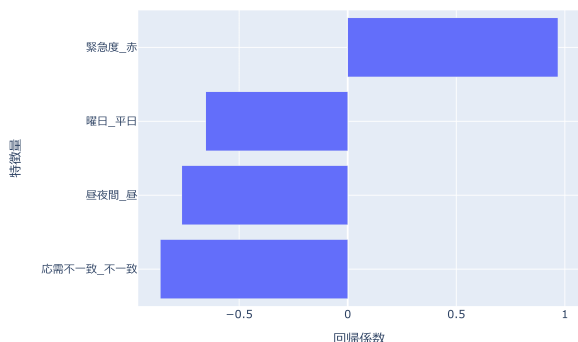


図 3.15 特徴量毎の回帰係数 (2022/6：内科)

1月内科における特徴量ごとの回帰係数 (p値 <= 0.05)

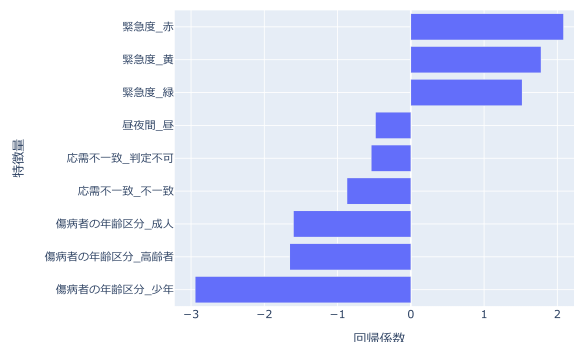


図 3.16 特徴量毎の回帰係数 (2023/1：内科)

### 3.5 救急搬送の傾向

搬送困難事案が多い月における救急隊による医療機関照会と、受け入れ先となる医療機関の対応について確認する。HEARTS システムに記録されている対象期間内の姫路市の医療機関は約 70 件存在する。このうち、HEARTS システムに参加している医療機関は 21 件である。これら 21 の医療機関は、姫路市と神崎郡において二次医療機関として地域医療の中心的な役割を担う救急告示病院に指定されている。また、同地域では後送輪番体制と呼ばれる制度を実施しており、休日・夜間急病センターでの対応が困難な重症患者を受け入れる体制がある。救急告示病院は基本的に後送輪番の役割も有しており、輪番日以外にも患者の受け入れに対応する。

図 3.17 は、同地域における 1 年間の医療機関別の搬送状況である。マスク処理の対応は、表 3.1 に示す。なお、先述した 21 の医療機関以外の医療機関は「その他」として集計をしている。この図 3.17 からは 21 の救急告示病院の中でも一部の大病院に搬送患者数が偏っていることが確認できる。

搬送先機関の集計(データ数:22596,期間:2022/05~2023/04)

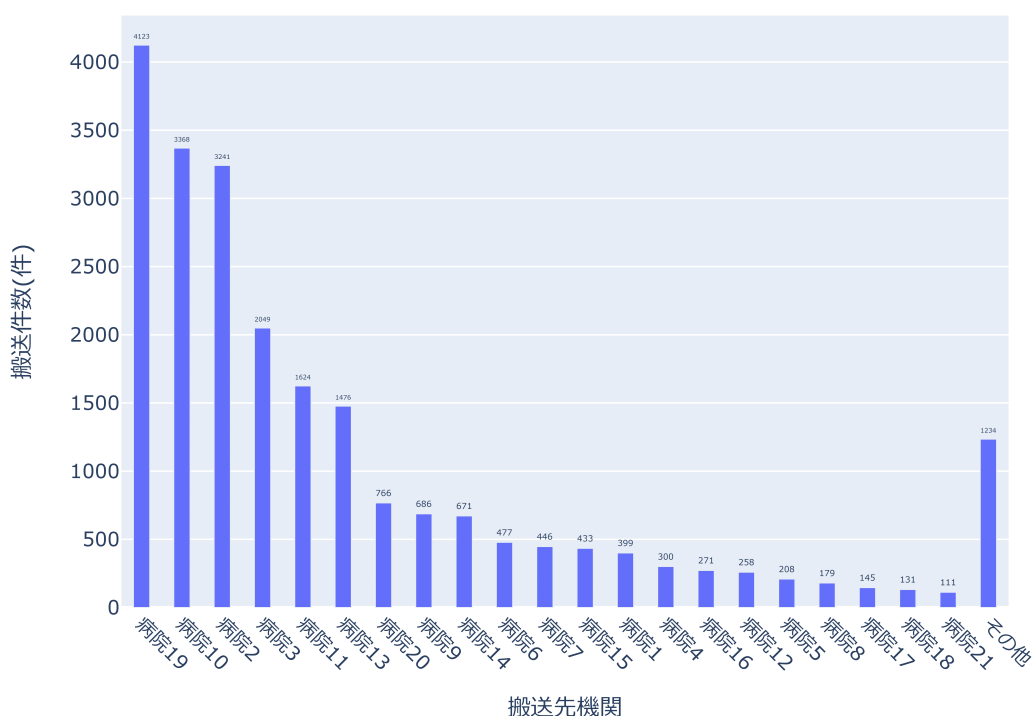


図 3.17 1 年間の医療機関別の搬送件数

搬送先を決定する際に救急隊は患者の受け入れ是非について医療機関に照会を行う。この照会時間が長ければ、搬送

表 3.1 医療機関マスク処理対応表

元の医療機関名	マスク後の医療機関名
井野病院	病院 1
社会医療法人三栄会ツカザキ病院	病院 2
独立行政法人国立病院機構姫路医療センター	病院 3
医療法人松浦会姫路第一病院	病院 4
医療法人芙蓉会姫路愛和病院	病院 5
医療法人社団光風会長久病院	病院 6
公立神崎総合病院	病院 7
医療法人社団綱島会厚生病院	病院 8
医療法人社団神野病院	病院 9
姫路赤十字病院	病院 10
姫路聖マリア病院	病院 11
医療法人ひまわり会八家病院	病院 12
入江病院	病院 13
医療法人公仁会姫路中央病院	病院 14
医療法人仁寿会石川病院	病院 15
医療法人社団普門会姫路田中病院	病院 16
医療法人社団みどりの会酒井病院	病院 17
社会医療法人三栄会三栄会広畑病院	病院 18
兵庫県立はりま姫路総合医療センター	病院 19
城陽江尻病院	病院 20
國富胃腸病院	病院 21

6月夜における内科輪番病院の医療機関の選定理由の集計(緊急度黄以上)

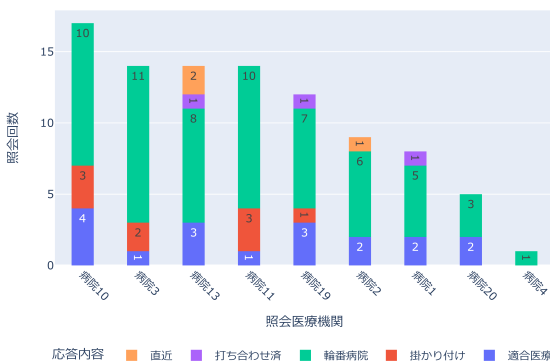


図 3.18 2022年6月夜における内科輪番病院の救急隊の選定理由

1月夜における内科輪番病院の医療機関の選定理由の集計(緊急度黄以上)

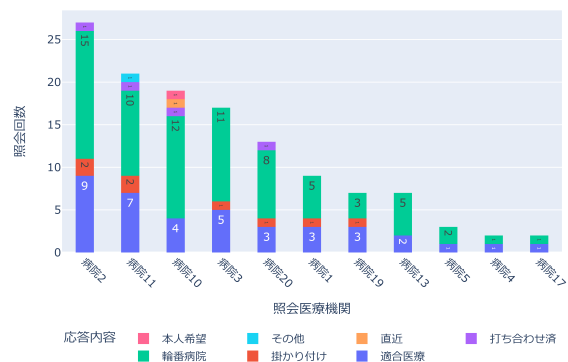


図 3.19 2023年1月夜における内科輪番病院の救急隊の選定理由

困難事案の条件の1つである現場滞在時間が伸びるため、照会は円滑に行われる必要がある。図 3.15 と図 3.16 から搬送困難事案は夜間において比較的に発生しやすいことが確認できることから、特に夜間における照会について着目する必要がある。

緊急度の高い内科患者を内科後送病院、内科・外科後送病院に搬送する際の救急隊の照会の傾向と、医療機関の応答内容について集計を行った。図 3.18 と図 3.19 によると、救急隊は輪番病院を中心に照会を行うものの、一部では適合医療やかかりつけ医を理由に照会を行っていることが示された。これは、輪番病院が救急告示病院としての役割も担っていることから、当直の輪番病院で対応できない場合に救急告示病院として照会しているものと考えられる。

また、医療機関の応答内容(図 3.20, 図 3.21)では、搬送困難の少ない6月ではほとんどの場合で患者を受け入れているが、搬送困難の多い月では受け入れの拒否が増加している。主な拒否理由としては、満床や処置中であることが示されており、これは発生患者数が医療機関の受け入れ能力を超えていることを示唆している。

搬送困難の多い1月は、照会先となる輪番病院の数が6月よりも多いが、特定の医療機関(病院 10, 病院 3, 病院 20, 病院 11, 病院 13)に照会が集中している。これらの医療機関は、救急告示病院の中でも内科の診療に関しては中心的な

6月夜における内科輪番病院の応答内容の集計(緊急度黄以上)

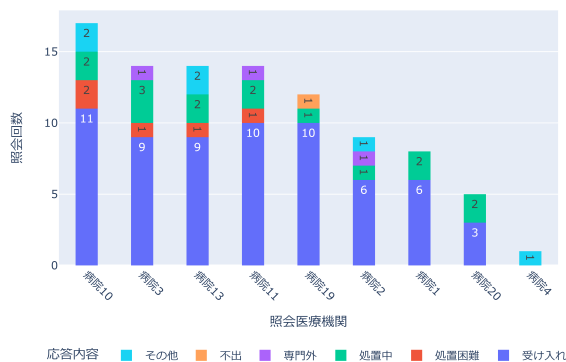


図 3.20 2022 年 6 月夜における内科輪番病院の応答内容

1月夜における内科輪番病院の応答内容の集計(緊急度黄以上)

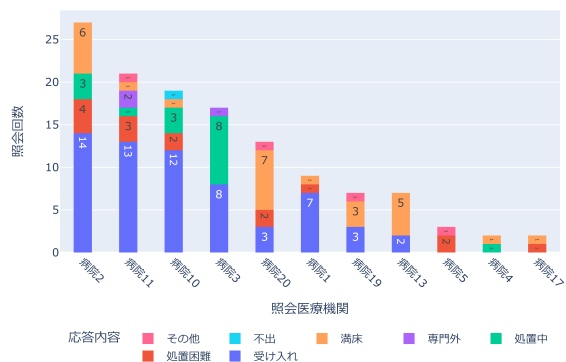


図 3.21 2023 年 1 月夜における内科輪番病院の応答内容

6月内科の医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数

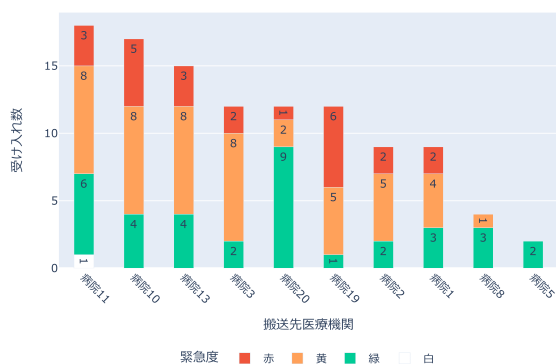


図 3.22 2022 年 6 月夜の緊急度別の受け入れ数

1月内科の医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数

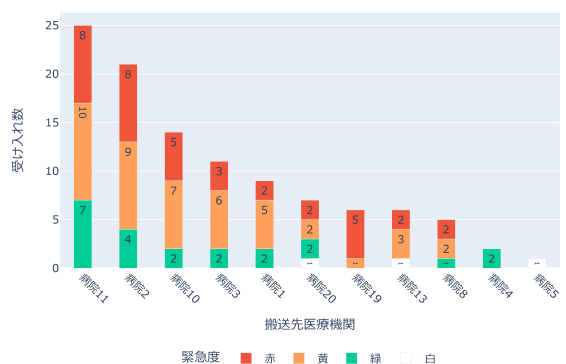


図 3.23 2023 年 1 月夜の緊急度別の受け入れ数

役割を担っていると考えられる。しかしながら、搬送困難の多い月において、一部の医療機関では満床を理由に受け入れを断っていることから、患者の受け入れ能力が逼迫している状況にあったことが窺える。更に、搬送困難の少ない6月に多くの患者を受け入れていた病院13、病院19、病院20は、1月に受け入れている患者が少ない。緊急度別の受け入れ数を集計した図3.22と図3.23によると、これらの病院は緊急度の高い患者を受け入れる能力を十分に持っていることが確認できる。そのため、一部の医療機関へ集中している緊急度の高い患者を輪番体制だけでなく救急告示病院を効果的に活用して負担を分散させることは可能であると思われる。

総じて、搬送困難事案は主に内科、整形外科、脳外科の患者を対象とした搬送業務で発生し、特に内科においては緊急度が高い患者ほど搬送困難になる傾向がある。救急告示病院としての機能を持つ医療機関においては、受け入れ能力や輪番担当日数に差異があるにせよ、一部の医療機関に搬送の負担が集中している。例えば、搬送困難の少ない6月に多くの患者を受け入れていた病院13、病院19、病院20は、1月に受け入れている患者が少ないが、緊急度別の受け入れ数を加味した集計によると、緊急度の高い患者を受け入れる能力は十分に持っており、分散させて搬送することが可能であると思われる。

このような医療機関が満床などを理由に受け入れを拒否するほどの搬送需要が発生することで、搬送困難事案が増加していると考えられる。搬送困難事案を解消するためには、搬送先を分散することで負担を減らすことや、受け入れ能力が不足している一部の救急告示病院に対して病床数や医師数を増やす等の施策の実施等のアプローチが考えられる。

## 4 シミュレーション

### 4.1 シミュレーション初期設定

HEARTS システムにて収集されている搬送記録は、旧中播磨医療圏を構成していた姫路市と神崎郡が中心となっている。そのため、本研究で構築するシミュレーションは、同地域を対象として構築する。本シミュレーションでは、1ステップを1分とし、シミュレーション期間を30日間とした。これは、搬送データから取得した輪番体制が1か月ごとに切り替わっていることから、救急医療システムとして捉えるには1か月が妥当であると判断したためである。模擬個票から姫路市、福崎町、神河町、市川町に該当する個票を抽出し、シミュレーション空間上で初期人口生成と建物生成、世帯の構成を行った。更に、HEARTS の搬送データや消防年報等を元に、姫路市と神崎郡の救急告示病院と消防署を生成した。表 4.1 に詳細なデータを示す。

表 4.1 シミュレーションにおける初期設定

初期設定	
総人口	527619
世帯数	215141
初期救急医療機関	1
二次救急医療機関	21
三次救急医療機関	2
その他の医療機関	52
消防署数	18
救急車両数	28

### 4.2 モデルの概要

本研究において構築したモデルの詳細について以下に示す。まず、本シミュレーションで表現する領域を示したものが、図 4.1 である。図 4.1 内における黒字は各フェーズにおいて発生している課題を指し、赤字はシミュレーションを用いることで検証可能なアプローチを示している。

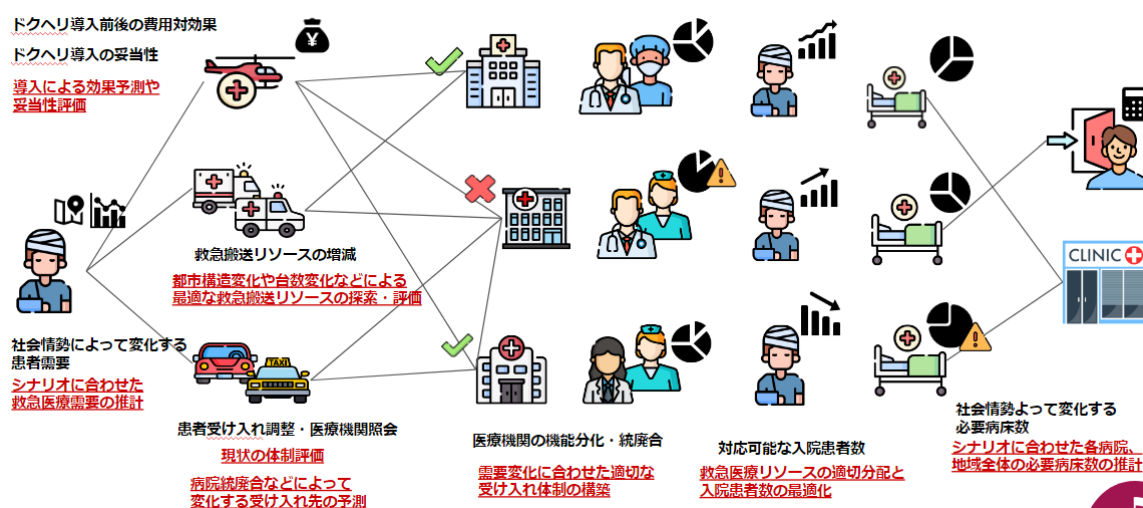


図 4.1 シミュレーション全体概要図

次に、本シミュレーションにおいて作成されるオブジェクトを表 4.2 に示す。これらのオブジェクトは模擬個票や搬送データ、消防年報等の各種データを参照して生成される。各オブジェクトは表 4.3 に示す役割を持ち、表 4.4 の行動規範に従って活動する。

表 4.2 オブジェクトの一覧

名称	オブジェクトタイプ	説明
Individual	Agent	模擬個票の個人に対応するエージェント
Ambulance	Agent	救急車 (救急隊) に対応するエージェント
FireStation	Spot	消防署に対応するスポット
Hospital	Spot	医療機関に対応するスポット
Stretcher	Spot	救急車が患者を格納しておくためのスポット
Road	Spot	移動中のエージェントを表現する場としてのスポット
Grave	Spot	死亡した患者の場としてのスポット

表 4.3 ロールの一覧

ロールを持つオブジェクト	ロール名称	説明
Individual	Individual	年齢階級, 性別の属性情報を保持
	Potential	特定の事故種別に遭った 119 番通報前の患者
	Patient	救急隊によって認知された患者
	Treated	医療機関にて治療が完了した患者
	Dead	死亡した患者
Ambulance	Ambulance	患者を救急搬送する
FireHq	FireStation	消防本部として搬送指示を出す
FireStation	FireStation	救急車両数と基本的な属性情報を保持
Hospital	Hospital	照会を受け, 患者を診療する

表 4.4 ルールの一覧

ロール名称	ルール名称	説明
Potential	Report	事故に遭った際に消防署に通報する
Ambulance	AmbulanceMove	緯度経度を元に 2 地点間を移動する
	ReferenceHospital StretcherMove	患者の容態に基づいて医療機関に照会する 患者をストレッチャーに移動させる
FireHq	WorkControl	救急通報を受け, 救急車に出動要請をする
Hospital	PatientCheck	患者の情報と院内の状況を下に照会を受ける
	Treat	患者を治療する

#### 4.2.1 人間エージェント

人間エージェントは, 模擬個票から生成され, 性別と 10 歳階級を持ち, 市内の町丁目・字に緯度経度の情報を基に生成され, 世帯を構成する. 人間エージェントは, 後述する救急搬送事案発生確率に基づいて, 潜在患者エージェントへと変化する. 潜在患者エージェントは, 消防局に対して性別, 年齢, 傷病種別, 現在地等の緊急通報を行い, 搬送を要請する. 搬送を要請した潜在患者エージェントは, 患者エージェントとなり, 現在地にて救急隊の到着を待つ.

病院に搬送された患者エージェントは, 治療エージェントとして病院の持つ診療待機リストに格納される. この時, 緊急度が赤である患者は最優先の治療対象となる. なお, トリアージが黒の患者エージェントは死亡扱いとして, 死者エージェントとなる. 治療を受けた患者エージェントは, 治療済みエージェントとなり, 医療施設動態調査 [25] から取得した医療機関種別ごとの平均在院日数によって, 退院日が決定され, 退院までの期間を医療機関の病床で過ごす. 退院日数を過ぎた治療済みエージェントは, 潜在患者エージェントとして日常生活に復帰する.

#### 4.2.2 救急車両エージェント

救急車両エージェントは、姫路市年報のデータに基づき、各消防署に所属するように生成される。救急車両エージェントは、後述する消防署からの搬送要請を受けて出動し、患者の下へ急行する。なお、この時患者が不搬送と診断された場合は消防署に帰還する。

現着後は患者エージェントの傷病種別と傷病程度から、搬送先となる各医療機関へ受け入れの照会を行う。照会の際には、昼夜と緊急度に応じて照会先の医療機関を変更する。この照会は患者を搬送できるまで行われる。受け入れ可能な医療機関が見つかった場合は患者をストレッチャーに移動させて搬送を行う。医療機関への移動の完了後は患者を医療機関へ引き渡して、搬送業務を終了して所属する消防署に帰還する。なお帰還途中に新たに搬送要請が発生した場合は、現在地から患者の下へ移動して搬送業務を行う。

救急車エージェントの2地点間の移動時間は、緯度経度を元に計算した直線距離を一律60km/hとした救急車両の移動速度で除算した値に補正值として2を乗算した値を用いる。選定ルールに関しては、多項ロジスティックによる医療機関の選定モデリングを行ったが、40%程度と精度の低いモデルとなってしまったため、搬送データに表れている傾向で得られた知見に基づいて選定ルールの構築を行った。図4.2に医療機関照会の選定フローチャートを示す。

#### 4.2.3 消防局・消防署スポット

消防局・消防署スポットは、姫路市年報から取得したデータを元に生成され、施設名、救急車両数、緯度・経度を持つ。対象となる消防署は姫路消防局を消防本部とする消防署である。消防局は潜在患者エージェントからの緊急通報を受けた場合に、患者から最短距離に位置する消防署に救急搬送要請を行う。この要請は、消防署に所属する救急車両エージェントの状態に基づいて行われ、搬送業務中であれば、他の消防署に要請を試みる。

#### 4.2.4 医療機関スポット

医療機関は、施設名、対応診療科目、輪番系統、病床数、緯度・経度の情報を持つ。医療機関は、HEARTSシステムに参加している救急告示病院の21病院と、輪番体制を組んでいることが確認できる病院をスポットとして生成される。搬送データ内には、上記以外の医療機関も含まれているが、搬送件数が非常に少ないことから、シミュレーション内では「その他」の医療機関として処理する。

医療機関の持つ診療科目と輪番系統を表4.5に示す。病床数と緯度経度はHEARTSシステム内のデータに加えて、国土交通省の提供する「国土数値情報」が公開する救急告示病院から取得した対応診療科目と緯度・経度の情報を用いて補正を行ったものを用いる[24]。また、医療機関の持つ病床は、一般病床数とし、医療施設動態調査から取得した一般病床の病床利用率[25]を元に、医療機関スポットの新規患者の受け入れ可能病床数を定義する。

全ての医療機関は、救急車両の行う患者の受け入れ照会先の対象となるが、この照会の際に重症患者を対応している医療機関は、新規の重症患者の受け入れを拒否する。なお、本モデルにおける患者の治療は、軽症の場合は30分、重症の場合は1時間と仮定している。これらの値はモデルの挙動を評価するために暫定的に設定している値であり、今後の改良によって柔軟に変更が可能である。また、1日のうち夜18時から朝9時までを夜間救急と位置づけ、それ以外の時間帯を昼間救急と位置づけている。

表 4.5 輪番系統と対応する診療科目

輪番系統	対応する診療科目
脳外科	脳外科, 神経内科, 口腔外科
内科外科	内科, 呼吸器科, 胃腸器科, 神経科, 皮膚科, 泌尿器科, 結核, 放射線科, アレルギー科, 外科, 内臓外科
内科	内科, 呼吸器科, 胃腸器科, 神経科, 皮膚科, 泌尿器科, 結核, 放射線科, アレルギー科
外科	外科, 内臓外科
小児科	小児科, NI重症
循環器科	循環器科, 心臓外科
整形外科	整形外科, 形成外科
産婦人科	産婦人科, 産科, 産科重症, 婦人科
眼科	眼科
耳鼻咽喉科	耳鼻科, 耳鼻咽喉科

医療機関は救急車エージェントから患者の受け入れの照会を受ける。医療機関は満床や処置中を理由に患者の受け入れを拒否する。HEARTSの搬送データや各種情報からモデリングに必要な詳細な得ることのできない専門医不在や不



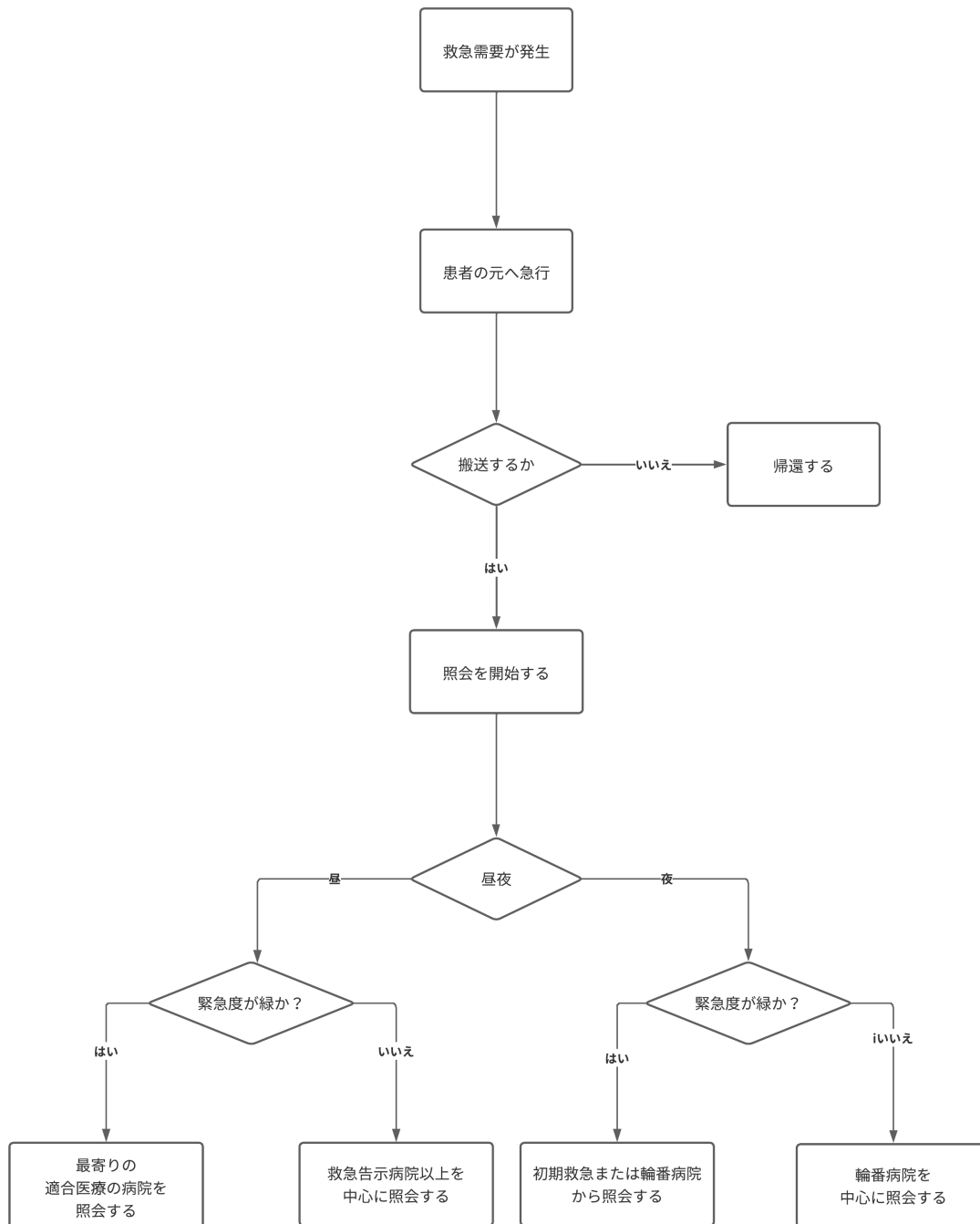


図 4.2 救急車両エージェントによる医療機関選定のフローチャート

出等については、搬送データから確率的に判定させている。医療機関スポットの照会対応時のフローチャートを図 4.3 に示す。

シミュレーション内で出力される医療機関はマスク処理を施されて実装される。マスク処理の対応表については、先述の表 3.1 を参照されたい。

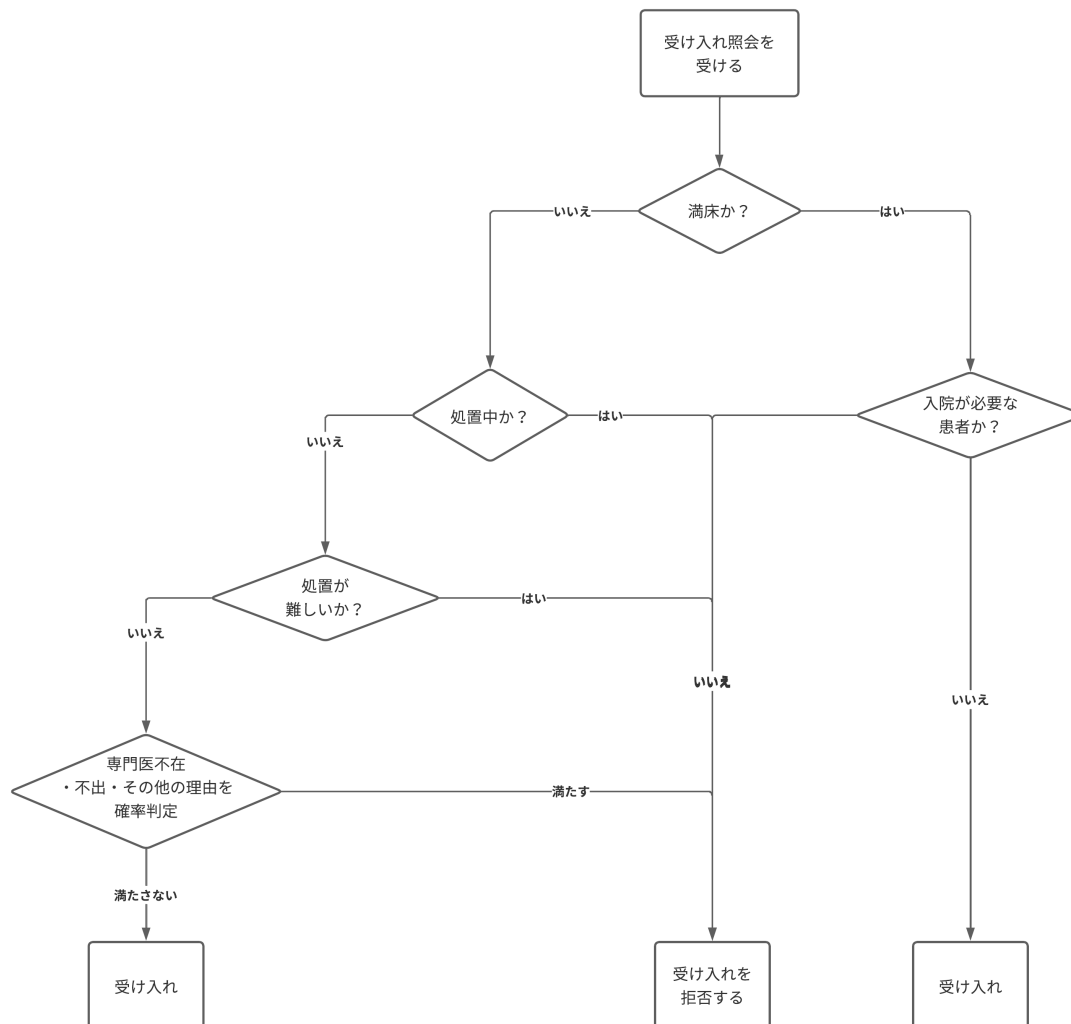


図 4.3 医療機関による照会時の対応

### 4.3 救急需要発生確率

シミュレーション内における救急需要の発生確率は、HEARTS システムに入力されている 2022/05~2023/04 までの一年間の搬送データを下に計算される。特に搬送データ内の患者の性別、年齢、事故種別、傷病種別、傷病程度、覚知時間等を元に計算される。以下にその導出過程を示す。

#### 4.3.1 救急隊出動事案の発生確率

救急隊出動事案の発生確率は、事故種別の昼夜間における出動事案発生数を姫路市と神崎郡の全人口で除算値とする。事故種別の昼夜間における出動事案発生数は、搬送データ内の 13 種類の事故種別 (急病、交通、一般、労災、運動、火災等) ごとの昼夜別の発生数を集計した値である。ここでの事故種別とは、患者がどのような事故に遭遇して救急要請をしたのかを表している。昼夜は 9 時から 18 時を昼とし、それ以外の時間を夜とした。姫路市と神崎郡の全人口は、「令和 2 年国勢調査 人口等基本集計 第 2-7-1 表」[26] から取得した姫路市、福崎町、神河町、市川町の全人口のうち、年齢不詳分を除いた数値とした。

$$\text{救急隊出動事案の発生確率} = \frac{\text{事故種別の昼夜間事案発生数}}{\text{対象地域の全人口}} \quad (1)$$

#### 4.3.2 救急搬送事案の発生確率

救急搬送事案が発生する確率は、事故種別の搬送患者総数を事故種別の発生総数で除算したものであり、事故に遭った患者が搬送される確率を表す。ここでの事故種別の発生総数とは、不搬送の場合も含まれた値である。不搬送とは、救急隊が出動したものの、現場での緊急度判定等の結果から搬送の必要性が認められず、搬送されなかった場合を指す。

HEARTS の搬送データには、不搬送となった場合のデータも存在しており、患者がどんな事故に遭遇した場合に不搬送となったかを確認することが可能である。

$$\text{救急搬送事案発生確率} = \frac{\text{事故種別の搬送患者総数}}{\text{事故種別の発生総数}} \quad (2)$$

#### 4.3.3 事故種別の傷病確率

搬送患者の事故種別の傷病確率は、事故種別の搬送患者の傷病種別ごとの患者総数を搬送患者の事故種別総数で除算した値である。この傷病種別には、HEARTS に入力されているデータを使用する。傷病種別には、内科系、泌尿器、一般負傷、脳疾患等の 15 種類が存在し、事故に遭った患者がどんな傷病を負ったかを確認可能である。

$$\text{搬送患者の事故種別の傷病確率} = \frac{\text{搬送患者の事故種別} \cdot \text{傷病種別の患者総数}}{\text{搬送患者の事故種別総数}} \quad (3)$$

#### 4.3.4 性・年齢別の傷病確率

性・年齢別の傷病確率は、10 歳階級別に傷病種別を発症する確率と性別に傷病種別を発症する確率を乗算した値を用いる。ここでの年齢階級は 10 歳階級とし、階級別の人口数は先述した国勢調査を下に算出した。同様に、性別の人口数も国勢調査の性別の総数を下に算出した。

$$\text{年齢階級別の傷病確率} = \frac{\text{年齢階級別の患者総数}}{\text{傷病種別の患者総数}} \quad (4)$$

$$\text{性別の傷病確率} = \frac{\text{傷病別の性別の患者総数}}{\text{傷病種別の患者総数}} \quad (5)$$

$$\text{性・年齢別の傷病確率} = \text{年齢階級別の傷病確率} \times \text{性別の傷病確率}$$

#### 4.3.5 傷病程度の確率

搬送患者の初診時傷病程度の確率は、傷病種別ごとに傷病程度別に集計した値を傷病種別の患者総数で除算した値を用いる。ここでの傷病程度には、救急隊による初診時の患者の容態を軽症、中等症、重症、死亡の 4 段階で表した HEARTS のデータを用いる。

$$\text{傷病程度の確率} = \frac{\text{傷病程度別の患者総数}}{\text{傷病種別の患者総数}} \quad (6)$$

#### 4.3.6 本モデルにおける救急需要の発生確率

本モデルにおける救急需要の発生確率は、上記の (1)~(6) の確率を乗算したものをを用いる。ここでは、救急需要の発生確率の使用例を示す。以下の式は、昼間に急病となり、内科系の傷病を重症で発し、搬送される患者が、30 代の男である確率を示している。

昼間に急病となり内科系の傷病を重症で発した 30 代男の患者が搬送される確率

$$= \text{昼間に急病を患う患者が発生する確率 (1)}$$

×

$$\text{急病の患者が搬送される確率 (2)}$$

×

$$\text{急病の患者が内科系の傷病を患っている確率 (3)}$$

×

$$\text{男が内科系の傷病を患う確率 (4)}$$

×

$$\text{30 代の人間が内科系の傷病を患う確率 (5)}$$

×

$$\text{内科系の傷病を患った患者が重症となる確率 (6)}$$

## 4.4 ベースシナリオ

構築したシミュレーションモデルを元に、搬送データとの傾向を確認する。シミュレーション期間を1か月、シミュレーション内の輪番体制を2023年1月をベースシナリオとしてシミュレーションを行った。ベースシナリオは妥当性の確認に加え、他のシナリオを行った際の比較対象となる。

まず、構築した患者発生モデルによって発生した診療科目別の患者数を示したものが、図4.4と図4.5である。患者は模擬個票から生成した市民エージェントに対して、先述した救急需要の発生確率を満たすかを毎朝判定させて発生させている。マクロな観点から発生数の傾向が類似しているため、本研究では救急搬送患者における診療科目別の分布という観点で妥当性があるとしてシミュレーションを行う。

診療科目別の患者数の集計(全期間)

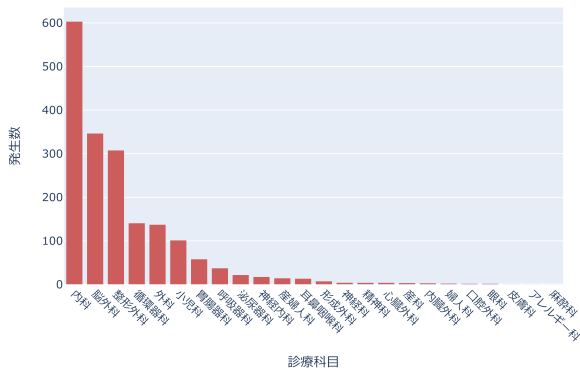


図 4.4 診療科目別の患者発生数 (HEARTS 搬送データ)

診療科目別の患者数の集計

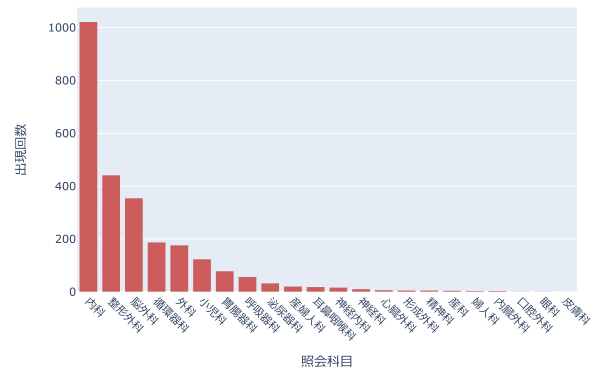


図 4.5 診療科目別の患者発生数 (シミュレーション)

次に、搬送傾向からモデリングした現行の搬送体制における救急隊の意思決定モデルを確認する。図4.6と図4.7は、医療機関ごとの緊急度別の患者受け入れ数を示したものである。構築したモデルにおいては、一部の病院において偏りが見られるものの、それ以外の医療機関への搬送数と緊急度別の割合から、搬送の偏りの傾向を表現できているものと思われる。

医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数



図 4.6 医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数 (HEARTS 搬送データ)

医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数

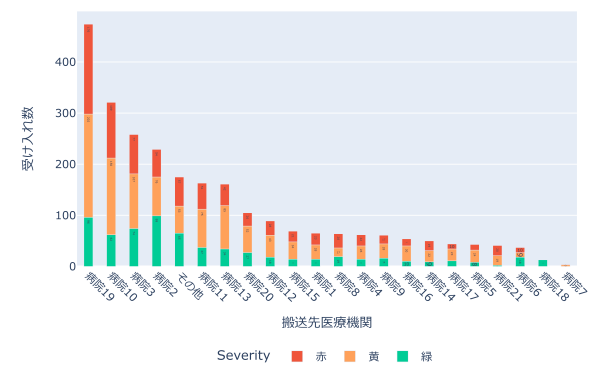


図 4.7 医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数 (シミュレーション)

次に、ベースシナリオを実行した際の搬送困難数について図4.8と図4.9に示す。診療科目別での搬送困難数の傾向が概ね一致していることから、医療機関の拒否によって生じる照会のある程度表現できていると考える。なお、系統の似通っていて発生数が極端に少ない一部の診療科目である産科や小児科系統である ni 重症等の搬送データに存在する一部の診療科目は、置き換えて集計している。



医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数

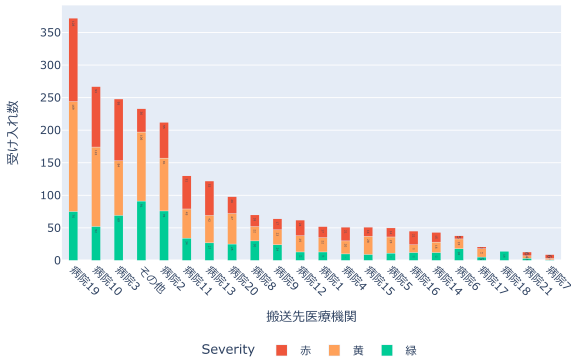


図 4.10 医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数 (分散シナリオ)

診療科目別の搬送困難事案数

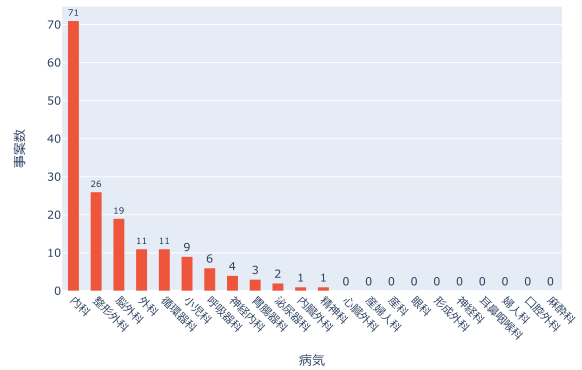


図 4.11 診療科目別の搬送困難事案数 (分散シナリオ)

回数が減少しているが、これは一回の搬送における照会回数が増えている一方で、全体としては搬送困難事案が減少しているためであると考えられる。また、平均現場滞在時間においては、わずかな増加が見られるが、分散搬送を行うために照会が4回目になるまで照会を続けているためであると考えられる。なお、ここでの計測時間は現場における救急隊の医療機関への照会時間であるが、本研究では5分から10分のランダム時間で決定しており、実態にそぐわない点があることを留意しなければならない。

表 4.8 シナリオごとの平均照会回数及び平均現場滞在時間

	平均照会回数	平均現場滞在時間
ベース	1.69	9.32 分
分散シナリオ	1.67	9.39 分

次に、内科の輪番病院における緊急度別の患者受け入れ数を図 4.12 および図 4.13 に示す。分散の結果、内科輪番病院全体において、受け入れ患者数が減少していることが分かる。また、緊急度が赤の患者においては、病院 2, 3, 19 の3つの大病院へと主に搬送されている。加えて一部の緊急度が黄の患者も搬送されているが、これは照会時に医療機関側で、黄・赤の患者を一定確率で処置困難としていることから、緑の患者よりも拒否される確率が高く、照会回数が伸びた結果、4回目にこれらの大病院を照会したためであると考えられる。一方で、緊急度が緑の患者の搬送数が減少しているが、これは、分散先のその他の医療機関へ積極的に搬送された結果であると思われる。このように内科の輪番病院における負荷がその他の医療機関へと分散したことで、図 4.11 で示されているように内科の搬送困難数が低下した。

内科における医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数



図 4.12 内科輪番病院の緊急度別の受け入れ数 (ベースシナリオ)

内科における医療機関ごとの緊急度別の受け入れ数



図 4.13 内科輪番病院の緊急度別の受け入れ数 (分散シナリオ)

## 5 結論

### 5.1 考察

緊急度によって搬送先を変える分散搬送を行うことで、特定の医療機関に搬送が集中することを避け、救急医療システム全体の負荷を分散させることが可能であると考えられる。分散シナリオにおいては、ベースシナリオと比較して平均照会回数が減少して平均現場滞在時間が増加したが、これは搬送先選定において、より多くの選択肢を考慮しつつも、搬送困難の可能性が高まる4回目以上の照会で、受け入れ可能性の高い大病院を照会している結果であり、搬送困難事案数が低下したものであると考える。また、緊急度が赤の患者が特定の大病院に集中して搬送されているのに対して、緊急度が緑や黄の患者がベースシナリオと比較してより広範に分散して搬送されていることから、緊急度に応じて搬送先の選定を変更するという戦略は一定度の効果を持つことが確認できる。総じて、分散搬送を行う上では、照会回数が増えることで救急隊の意思決定の負担が増加するが、全体の傾向として搬送困難事案が減少することを確認できることから、現場の負担と全体の最適においてトレードオフ関係があることを考慮しなければならず、最適となるような切り上げタイミングやルールの検討が不可欠である。

### 5.2 結論

本研究では、姫路市消防局が実際に運用している情報システム HEARTS のデータから搬送困難の要因を分析し、それらの知見を元に ABSS によって姫路市消防局管内の救急搬送体制のモデリングを行い、任意の施策をシナリオとして実行できることを確認した。特に、今回は搬送データによって搬送困難が発生している要因について考察し、その要因に対して解決施策となり得る分散搬送シナリオを設定し、搬送困難事案数の増減からその効果を確認した。結果として、本モデルを用いた検証では、分散搬送を行うことで、内科をはじめとしたいくつかの診療科目において搬送困難事案数が減少することが示された。また、分散搬送を行うには照会時の救急隊の負担と全体の最適の間でトレードオフの関係があることが示唆された。本研究で構築したモデルは搬送データや医療情報等のデータに基づいて構築することで、姫路市消防局管内における救急医療体制とそれらを取り巻く行為主体を可能な限り表現したことで、照会先医療機関の選定や発生患者数や搬送困難数等のマクロな挙動において一定度の妥当性があることを確認した。モデルに投入する各種変数は csv データとして与えられるように設計しており、本研究で行った以外の輪番体制の組み換え等の施策をシナリオとして実行することも可能である。

### 5.3 今後の展望と課題

本研究で構築したモデルは、医療機関内部のモデリングが疎であることや、HEARTS システムに記録されていない医療機関の挙動、各医療機関の受け入れ能力の実態等については十分に考慮できておらず、妥当性の議論は一定の域を出ておらず、課題が残る。そのため、政策支援という観点では、今回構築したモデルがより尤もらしい振る舞いを表現できるように改良を行っていく必要がある。

まず、本研究では HEARTS の搬送データを中心にモデリングを行ったため、姫路市消防局管内の救急需要に限定している点である。外部地域からの流入や救急隊が関知しない自力受診による患者等の医療需要によって医療機関への需要が増大した場合に、照会時の応需率に影響が出ると考えられるが、本研究ではその影響を確率で表現しているため、明確な数値として考慮できていない。また、今回は救急隊による医療機関照会をデータに基づいてモデリングを行ったが、選定先の偏りが正確に一致していない点や、主観によるバイアスが生じていることは否定できない。こうした不確実な要素を排除するためには、多値分類問題として多項ロジスティック回帰モデルやランダムフォレスト等を用いて救急隊の医療機関選定モデルを構築することが不可欠であると考えられるが、本研究ではそうした詳細な意思決定モデルの実装には至らなかった。この改善には、病院側の対応を詳細に把握可能なデータを組み合わせることや、関係者に対する詳細な聞き取りを行って、意思決定モデルを構築することが不可欠であると考えられる。今後、より確度の高い政策立案を支援していくには、こうした改善点を解消し、より尤もらしいシミュレーションモデルの構築を行う必要がある。

## 参考文献

- [1] 総務省消防庁. "各消防本部からの救急搬送困難事案に係る状況調査の結果 (R5.10.2~R5.10.8)". 新型コロナウイルス感染症に伴う救急搬送困難事案に係る状況調査について. 2023. <https://www.fdma.go.jp/disaster/coronavirus/post-1.html>, (最終閲覧: 2023/10/05)
- [2] NHK. "救急搬送困難な事例が過去最多 コロナ感染拡大で 総務省消防庁". NHK 政治マガジン. 2022. <https://www.nhk.or.jp/politics/articles/lastweek/75872.html>, (最終閲覧: 2023/09/25)
- [3] NHK. "「患者、断らざるをえない」「搬送困難」過去 2 番目の多さに". 新型コロナと感染症・医療情報. 2021. [https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/medical/detail/detail\\_135.html](https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/medical/detail/detail_135.html), (最終閲覧: 2023/09/25)
- [4] NHK. "WHO 新型コロナ「緊急事態宣言」終了を発表". NHK NEWS WEB. 2023. <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20230505/k10014058621000.html>, (最終閲覧: 2023/09/25)
- [5] 厚生労働省. "新型コロナウイルス感染症の 5 類感染症移行後の対応について". 厚生労働省. 2023. <https://www.mhlw.go.jp/stf/corona5rui.html>, (最終閲覧: 2023/09/25)
- [6] 総務省消防庁. "令和 4 年版 消防白書 第 2 章消防防災の組織と活動 第 5 節救急体制". 総務省消防庁. 2023. <https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/r4/65826.html>, (最終閲覧: 2023/06/11)
- [7] 大石 充. "高齢者救急の課題—予防の重要性と取り組み—". 日本内科学会雑誌. 2019, 第 108 巻, 第 12 号, p.2481-2487.
- [8] 救急業務のあり方に関する検討会. "第 2 回 令和 2 年 11 月 9 日(月) 資料 2 救急活動における ICT 技術導入". 総務省消防庁. 2020. [https://www.fdma.go.jp/singi\\_kento/kento/post-57.html](https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/post-57.html), (最終閲覧: 2023/10/11)
- [9] 救急業務のあり方に関する検討会. "第 2 回 令和 4 年 12 月 1 日(木) 資料 4 消防庁からの情報提供". 総務省消防庁. 2022. [https://www.fdma.go.jp/singi\\_kento/kento/post-118.html](https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/post-118.html), (最終閲覧: 2023/10/11)
- [10] 倉橋 節也. 社会経済システムにおける因果推論. 計測と制御 59 (12). 930 - 33, 2020.
- [11] 後藤 裕介. エージェントベース社会シミュレーションによる社会共創アプローチ. 感性工学 21 (2). 84 - 91. 2023.
- [12] 後藤 裕介, 市川 尚, 白井 康之, 森田 裕之. 社会政策立案のためのエージェントベース社会シミュレーションにおける深い不確実性分析. 計測と制御 62 (1). 21 - 26. 2023.
- [13] 鈴木 昌, 堀 進悟. 救急隊の現場滞在と病院搬送に長時間を要した患者の特徴. 日本臨床救急医学会雑誌 13 巻 3 号 p.303-309, 2010
- [14] 熊谷 美香, 北野 尚美, 小松 枝里香, 道場 浩幸, 上野 雅巳. 救急搬送症例における覚知時刻・場所および救急隊判断程度と搬送先病院の選定困難性の関連. 日本公衆衛生雑誌 65 巻 3 号 p.116-124, 2018
- [15] 芦田 泰之, 当院における救急搬送要請不応需例の検討. 松江市立病院医学雑誌 18 巻 1 号 p.5-10, 2014
- [16] 鈴木 昌, 堀 進悟. 救急搬送先病院の選定困難事案多発の原因についての検討. 日本救急医学会雑誌 21 巻 11 号 p.899-908, 2010
- [17] 中尾 彰太, 成田 麻衣子, 比良 英司, 勝原 和博, 松岡 哲也. 搬送先選定困難例の個別検証および情報共有体制整備の有用性～たらい回しゼロを目指して～. 日本臨床救急医学会雑誌 18 巻 3 号 p.521-527, 2015
- [18] 市川 学, 春日 雄翔, 出口 弘, 金谷 泰宏. 二次医療圏における夜間救急医療モデルの構築とその利用, 27 巻 7 号 p. 259-267, 2014
- [19] 不動 翔太郎, 市川 学, 中井 豊. エージェントベースモデルによる夜間二次救急体制の検討, 保健医療科学, Vol.65 No.1 p.78 - 89, 2016
- [20] 金谷 泰宏, 眞屋 朋和, 富田 奈穂子, 市川 学, 出口 弘. 社会シミュレーションを用いた保健医療サービスの評価. 計測と制御 52 (7): 622 - 28. 2013
- [21] 神戸新聞 NEXT. "「救急搬送困難」が増加 受け入れ交渉 19 回の例も 姫路市消防局管内". 神戸新聞 NEXT. 2021. <https://www.kobe-np.co.jp/news/himeji/202101/0014033559.shtml>, (最終閲覧: 2023/06/11)
- [22] 小野 功, 市川 学, 出口 弘. 大規模エージェントベースシミュレーションのための SOARS Toolkit の提案. SSI2020 予稿集. 2020-11-15/17. 計測自動制御学会.GS6-4-5, 2020



- [23] 原田 拓弥, 村田 忠彦, 出生コーホートを考慮した日本全国の仮想個票の合成, 計測自動制御学会第 18 回社会システム部会研究会資料, 6 pages, 2019
- [24] ”国土数値情報 医療機関データ” . 国土交通省.2020. [https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P04-v3\\_0.html](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P04-v3_0.html)
- [25] ”令和 4(2022) 年 医療施設 (動態) 調査・病院報告の概況” . 厚生労働省.2022. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/22/dl/11gaikyuu04.pdf>
- [26] ”令和 2 年国勢調査/人口等基本集計 (主な内容: 男女・年齢・配偶関係, 世帯の構成, 住居の状態, 母子・父子世帯, 国籍など)” . 総務省統計局統計調査部国勢統計課.2020. [https://www.e-stat.go.jp/stat-search/database?page=1&layout=datalist&toukei=00200521&tstat=000001136464&cycle=0&tclass1=000001136466&statdisp\\_id=0003445162&tclass2val=0](https://www.e-stat.go.jp/stat-search/database?page=1&layout=datalist&toukei=00200521&tstat=000001136464&cycle=0&tclass1=000001136466&statdisp_id=0003445162&tclass2val=0)
- [27] ”令和 5 年姫路市消防年報”. 姫路市消防局.2023. <https://www.city.himeji.lg.jp/shisei/cmsfiles/contents/0000017/17443/R5.1.pdf>, (最終閲覧:2023/12/15)  
救急業務のあり方に関する検討会. ”第 2 回 令和 4 年 12 月 1 日 (木) 資料 4 消防庁からの情報提供” . 総務省消防庁. 2022. [https://www.fdma.go.jp/singi\\_kento/kento/post-118.html](https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/post-118.html), (最終閲覧: 2023/10/11)
- [28] ”令和 4 年中の救急統計 (確定値)” , 姫路市消防局. 2022. <https://www.city.himeji.lg.jp/shisei/0000016496.html>, (最終閲覧: 2024/01/15)
- [29] ”kepler.gl”, Uber. <https://kepler.gl/>
- [30] ”救急現場の緊急度判定の導入及び運用手引書” , 消防庁.2020. [https://www.fdma.go.jp/publication/portal/items/200327\\_tebiki\\_kyuukyuu.pdf](https://www.fdma.go.jp/publication/portal/items/200327_tebiki_kyuukyuu.pdf)