

# 救急車の移動軌跡データからの救急活動区間の 部分移動軌跡の抽出手法の提案

山浦 翔亜<sup>1</sup> 鶴成 悦久<sup>2</sup> 廣田 雅春<sup>1</sup>

**概要:** 救急車の移動軌跡データを用いた運用評価や経路分析などは、救急活動の実態の把握や改善策を検討するための重要な情報源である。大分県の一部の救急車には GPS が装着されており、エンジンの始動に伴い測位が開始され、移動軌跡が生成される。一方で、救急車は、救急活動に加えて、転院搬送や待機運用に伴う移動も行うため、その移動軌跡には救急活動に対応しない区間が混在する。そこで本研究では、大分県の救急車の移動軌跡データから救急活動区間に該当する部分移動軌跡を救急活動セグメントとして抽出する方法を提案する。提案手法では、移動軌跡から救急車の待機所から病院までの救急活動セグメント候補を抽出し、それらを救急活動セグメントであるか否かを分類する。

**キーワード:** 軌跡セグメンテーション, 軌跡分類, 移動特性, GPS

## A Method for Extracting Emergency Activity Sub-Trajectories from Ambulance Trajectory Data

TOA YAMAURA<sup>1</sup> YOSHIHISA TURUNARI<sup>2</sup> MASAHARU HIROTA<sup>1</sup>

**Abstract:** Ambulance trajectory data are an important information source for operational evaluation and route analysis. They also facilitate understanding the actual state of emergency activities and examining improvement measures. In Oita Prefecture, some ambulances are equipped with GPS devices that start positioning when the engine is turned on, thereby generating trajectory data. However, ambulances are used not only for emergency activities but also for inter-hospital transfers and movements associated with standby operations. As a result, the recorded trajectories include segments that do not correspond to emergency activities. Therefore, this study proposes a method to extract sub-trajectories corresponding to emergency activity periods, referred to as emergency activity segments, from ambulance trajectory data in Oita Prefecture. The proposed method first extracts candidate segments corresponding to movements from an ambulance base to a hospital. We classify each candidate as an emergency activity segment or not.

**Keywords:** Trajectory segmentation, Trajectory classification, Movement characteristics, GPS

### 1. はじめに

近年、消防活動の一環として実施される救急搬送は、市民に広く浸透するとともに、その需要は急速に増加傾向にある。たとえば、大分県における救急自動車の救急出動件数は、令和 4 年から令和 7 年までの間に毎年、平均約 7% の増加となっており、救急搬送人員についても同程度の増

加が続いている。<sup>\*1</sup>

また、自治体消防の広域化が推進されつつあり、それらの救急隊の活動範囲は拡大傾向にある。それに伴い、病院収容までの平均所要時間は長期化の傾向がある。これは、「町村の消防の広域化に関する基本方針(平成 18 年制定)」<sup>\*2</sup>において、災害対応力の強化や資源運用の効率化を目的と

<sup>1</sup> 岡山理科大学 情報理工学部 情報理工学科

<sup>2</sup> 大分大学 減災・復興デザイン教育研究センター

<sup>\*1</sup> 大分県における救急の現況: [https://www.pref.oita.jp/uploaded/life/2296369\\_4458895\\_misc.pdf](https://www.pref.oita.jp/uploaded/life/2296369_4458895_misc.pdf)

<sup>\*2</sup> 市町村の消防の広域化に関する基本指針: <https://www.fdma.go.jp/laws/kokuji/post7>

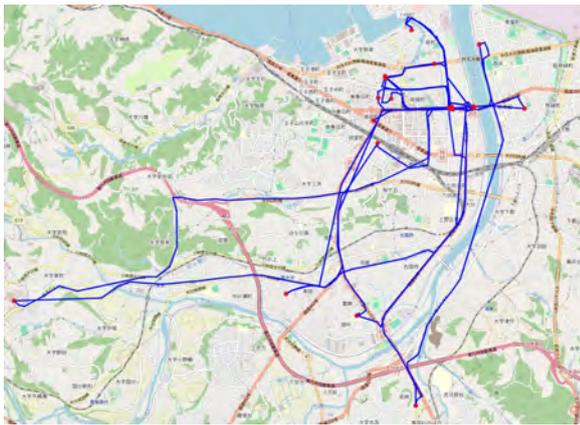


図 1 大分市周辺におけるある 1 日の単一救急車の移動軌跡（青線は移動軌跡，赤点は停止地点）

して消防本部の広域的な連携および統合が推進されてきたことによるものである。病院収容所要時間については，令和元年から令和 4 年までを比較して約 7 % 程度の延伸が見られる。<sup>\*3</sup>

救急車の移動軌跡は，このような救急活動の実態を把握するための重要なデータであると考えられる。特に，現場到着までの所要時間や，搬送経路，病院選定の傾向などを把握することで，救急体制の運用評価や救急車の配置の最適化に有用な知見が得られると期待される。

しかしながら，救急車に搭載された Global Positioning System (GPS) により取得される移動軌跡には，救急活動中の移動のみならず，病院搬送後の待機所への帰還や巡回移動など，救急活動に直接対応しない区間も含まれる。図 1 は，4.1 節で述べる本研究のデータセットの一部である，大分県におけるある 1 日の単一救急車の移動軌跡を OpenStreetMap<sup>\*4</sup>で可視化したものである。このように，観測される移動軌跡には救急活動に対応する区間とそれ以外の区間が混在しており，救急活動中の移動のみを対象として分析を行うためには，その移動軌跡から救急活動区間を適切に抽出する前処理が必要となる。

そのため，それらの移動軌跡をそのまま用いて救急活動に関する分析を行う場合，非救急活動区間が多数混在することにより，救急活動に対応する移動特性の推定などの分析結果の妥当性が低下するおそれがある。したがって，移動軌跡から救急活動に対応する区間のみを適切に抽出する前処理が不可欠である。

そこで，本研究では，救急車の移動軌跡から救急活動区間のセグメントを抽出する方法を提案する。図 2 に示すように，救急車が待機所を出発し，救急活動により患者を病院へ搬送する移動区間を救急活動セグメントと定義する。また，救急活動に伴うか否かにかかわらず待機所から病院



図 2 救急活動セグメント候補と救急活動セグメント

までの移動を救急活動セグメント候補と定義する。提案手法では，移動軌跡に含まれる測位点列に基づいて救急活動セグメント候補を抽出し，それぞれの候補の移動距離や速度などの情報に基づく特徴量による救急活動セグメントであるか否かを分類する。

本論文の構成は以下の通りである。2 節では，救急搬送やその移動経路に関する研究についてまとめる。3 節では，本論文で提案する救急活動セグメントの抽出手法について述べる。4 節では，評価実験について述べる。5 節では，本論文のまとめと今後の課題について述べる。

## 2. 関連研究

### 2.1 救急搬送の移動経路に関する研究

救急搬送時の移動経路は，病院への到達時間に直結するため，救急活動の迅速性および効率性を評価する上で重要な要素である。小野ら [1] は，搬送患者の傷病を考慮した救急車の経路の選定を行った。実際の救急車の搬送経路，および Google Maps による経路と比較することで，提案手法による経路は同等以上の迅速性と安全性を有することを示した。矢野ら [2] は，既存のナビシステムの利用について検討するために，実際の救急車の搬送経路と Google Maps による経路の一致度とそれらの到着時間を比較した。杉山ら [3] は，搬送経路を選定する時間を短縮するために，データベースを利用した手法を提案した。提案手法により，経路探索に必要な時間を大幅な短縮可能であることを示した。二神ら [4] は，救急車の移動軌跡データと救急搬送記録の時刻を比較することで，救急搬送記録の時刻の信頼性を検証した。結果として，救急搬送記録を用いて様々な分析が可能であることが明らかになった。

### 2.2 救急搬送に影響する地域特性に関する研究

救急搬送の所要時間などに影響を与える要因を明らかにするため，地域特性などに着目した研究が行われている。山岡ら [5] は，平均搬送時間と搬送時間比は地域における救急搬送の需要により影響を受けるのではなく，供給側の動向により大きく左右されることを明らかにした。小池ら [6] は，救急車の走行障害要因を明らかにするために救急隊の走行速度と地域特性との関係に着目した分析を行った。結果は，地域特性と救急車の走行速度の関連性が確認でき，走行障害要因を明らかにする方法は有効であると判断できた。木村ら [7] は，島根県における救急医療機関へ

<sup>\*3</sup> 医療機関収容までの所要時間が延伸している問題への ATAS を活用した取組み: <https://www.mhlw.go.jp/content/10800000/001481840.pdf>

<sup>\*4</sup> <https://www.openstreetmap.org>

のアクセシビリティについて、二次医療圏に関して分析を行った。結果として、地域における医療機関へのアクセシビリティに関する検討が必要であることが示唆された。

### 3. 提案手法

提案手法では、移動軌跡から救急車の待機所出発から病院到着までのセグメントを救急活動セグメント候補として抽出し、それぞれの候補が救急活動セグメントであるか否かを分類する。

#### 3.1 事前準備

移動軌跡を測位点の順序付きシーケンス  $T$  として定義する。

$$T = \{p_1, p_2, \dots, p_n\} \quad (1)$$

ここで、各測位点  $p_i = (x_i, y_i, t_i, s_i)$  は、経度  $x_i$ 、緯度  $y_i$ 、タイムスタンプ  $t_i$ 、および車載センサにより計測された速度  $s_i$  から構成される。

また、各測位点  $p_i$  には、待機所から  $T_f$  以内で測位されたか否かを表す二値  $f_i \in \{0, 1\}$ 、および病院から  $T_h$  以内で測位されたか否かを表す二値  $h_i \in \{0, 1\}$  を付与する。本研究では、 $T_f = 50\text{m}$ 、 $T_h = 70\text{m}$  とした。

#### 3.2 救急活動セグメント候補集合の抽出

本処理では、移動軌跡  $T$  から救急活動セグメント候補  $s_j$  で構成される救急活動セグメント候補集合  $S$  を抽出する。各救急活動セグメント候補  $s_j$  は、軌跡  $T$  上の連続区間を特定する始点インデックス  $a_j$  と終点インデックス  $b_j$  を持つ。

$$s_j = \{p_k \in T \mid 1 \leq a_j \leq k \leq b_j \leq n\} \quad (2)$$

救急活動セグメント候補  $s_j$  は、救急車が待機所領域の最後の測位点を出発とみなし、その後病院領域内へ到達した最初の測位点までの連続区間として定義する。ただし、待機所と病院の両方の領域に含まれる測位点 ( $f_i = 1 \wedge h_i = 1$ ) は、この処理から除外する。このとき、候補区間の始点インデックス  $a_j$  と終点インデックス  $b_j$  は次式で表される。

$$\begin{aligned} a_j &= \min\{k \mid k > b_{j-1} \wedge f_k = 1 \wedge h_k = 0\} \\ b_j &= \min\{k \mid k > a_j \wedge h_k = 1 \wedge f_k = 0\} \end{aligned} \quad (3)$$

さらに、救急車が実際に移動している候補区間のみを抽出するため、最小移動速度閾値  $T_s$  を導入する。区間  $[a_j, b_j]$  が次式を満たす場合に限り、これを有効な救急活動セグメント候補として採用する。本研究では、 $T_s = 3\text{km/h}$  と設定した。

#### 3.3 救急活動セグメント候補の分類

本研究では、抽出した救急活動セグメント候補  $s_j$  が救急活動セグメントであるか否かを二値分類により判定する。

はじめに、3.2 節において得られた各救急活動セグメント候補に対して著者がアノテーションを行い、[救急活動セグメント] または [その他] の 2 値ラベルを付与した。

##### 3.3.1 特徴量

本研究では、各救急活動セグメント候補に対して、移動時間、距離、速度、加速度、方位変化、停止挙動、および位置関係に関する統計量から構成される特徴量ベクトルを生成する。特徴量の概要を表 1 に示す。

まず、時刻に関する特徴量として、セグメントの開始時刻と終了時刻の差から算出した経過時間 (秒) を用いる。また、開始時刻の時刻情報を離散値 (0-23 時) として付与し、日内変動の影響を表現する。

距離に関する特徴量として、始点と終点の直線距離 (m)、隣接測位点間距離の総和による移動距離 (m)、およびそれらの比率を用いる。さらに、実際の移動距離と直線距離の差分を迂回量とし、経路の冗長性を表現する。これらの距離は haversine 距離を用いる。

速度に関する特徴量として、車載センサ値または測位点間距離と時刻差から算出した速度系列について、平均値、標準偏差、最大値、および分位点 (5, 25, 50, 75, 95 パーセンタイル) の統計量を用いる。また、速度値が得られた測位点の割合を算出し、速度系列の有効性を評価する。

加速度に関する特徴量として、速度差分と時間差分から算出した加速度系列について、平均値、標準偏差、最大値、および分位点 (5, 25, 50, 75, 95 パーセンタイル) の統計量を用いる。加えて、加速度の絶対値系列に基づく統計量も併せて算出する。これにより、救急車の加減速を表現する。

停止に関する特徴量として、所定時間以上連続して停止状態が継続した区間に属する測位点の割合を導入する。具体的には、停止継続時間の閾値を 60 秒、180 秒、300 秒、600 秒、900 秒、1200 秒とし、各閾値について停止判定が成立する測位点の割合を算出することで、救急車の停止を多段階で表現する。

経路形状に関する特徴量として、隣接測位点の方位角差分を算出した速度系列について、平均値、標準偏差、最大値、および分位点 (5, 25, 50, 75, 95 パーセンタイル) の統計量を用いる。これにより、救急車の走行経路の屈曲度や方向変化の頻度を表現する。

さらに、セグメント内の測位点が待機所領域または病院領域に含まれる割合をそれぞれ算出し、位置関係に関するコンテキスト特徴量として用いる。

以上の特徴量を組み合わせることで、各救急活動セグメント候補の移動特性、停止挙動、経路形状、および位置関係を多面的に表現し、後段の分類モデルへの入力特徴量と

表 1 救急活動セグメント候補の分類に用いた特徴量

説明	特徴量名
開始時刻と終了時刻の差 (秒)	duration_sec
開始時刻 (0-23 時)	start_hour
始点と終点の直線距離 (m)	dist_line_m
セグメント内連続測位点間距離の総和 (m)	dist_path_m
直線さ (dist_line_m/dist_path_m)	linearity
迂回量 (dist_path_m- dist_line_m)	detour_m
セグメント内の車載センサ速度	sp_mean, sp_p25 など
GPS から算出した速度 (m/h)	speed_mean, speed_p25 など
加速度 (m/s <sup>2</sup> )	accel_mean, accel_p25 など
加速度の絶対値	abs_accel_mean, abs_accel_p05 など
方位変化量の絶対値	heading_abs_change_mean, heading_abs_change_p05 など
病院に停止している割合	hospital_ratio
待機所に停止している割合	base_ratio
60 秒以上の停止であると判定される測位点の割合	stop_60_ratio など
セグメント点数に対する有限な速度値の比率	valid_sp_ratio, valid_speed_ratio

する。

### 3.3.2 分類モデル

分類モデルは、eXtreme Gradient Boosting (XGBoost) [8] を用いた。各救急活動セグメント候補を特徴量ベクトルとしてモデルに入力し、[救急活動セグメント]と判定されたセグメントを最終的な救急活動セグメントとする。

## 4. 評価実験

### 4.1 データセット

本研究では、大分大学減災・復興デザイン教育研究センターおよび大分大学医学部附属病院 災害マネジメント総合支援センターから提供して頂いた、大分県の救急車に搭載された GPS による測位点で構成される移動軌跡を利用する。この移動軌跡には、緯度、経度、測位時間、救急車 ID などの情報が含まれている。測位期間は、2023 年 3 月 15 日～2025 年 4 月 3 日で、測位間隔の中央値は 220.5 秒である。また、この GPS は、エンジンに連動して測位されているため、病院搬送後の待機所への帰還などの救急活動以外の活動中のデータも含まれている。

3.2 節で抽出した救急活動セグメント候補の一部についてアノテーションを行った。241 件の救急活動セグメント候補についてアノテーションを行い、[救急活動セグメント]が 109 件、[その他]のセグメントが 132 件であった。

### 4.2 実験条件

データセットのアノテーション済みの救急活動セグメント候補を train:valid:test= 7:1:2 に分割した。

XGBoost のハイパーパラメータの探索は、Optuna [9] を利用した。

表 2 救急活動セグメント候補の分類の評価結果

Accuracy	Precision	Recall	F1 値
0.76	0.69	0.88	0.77

表 3 救急活動セグメント候補の分類の混同行列

		予測	
		救急活動セグメント	その他
正解	救急活動セグメント	35	5
	その他	16	30

### 4.3 救急活動セグメント候補の分類結果

表 2 に、救急活動セグメント候補の分類の評価結果を示す。Accuracy は 0.76、F1 値は 0.77 であり、提案手法は救急活動セグメントの分類に対して一定の有効性を有することが確認できる。特に、Recall が 0.88 と高い値であることから、救急活動セグメントを見逃す割合は相対的に低く、救急活動区間の抽出を優先する用途に対して適格的であるといえる。

表 3 より、[その他]であるにもかかわらず [救急活動セグメント]と判定したのは 16 件であり、[その他]を正しく [その他]と判定したのは 30 件であった。この分類の誤りが一定数存在することは、候補を抽出する段階において待機所から病院方向への移動と類似した非救急活動区間（例えば、病院搬送後の帰還移動や巡回移動）が多く救急活動セグメント候補集合に含まれることを表す。そのため、移動時間や速度統計量などの特徴量のみでは救急活動時の挙動差を十分に分離できない場合があることを示している。一方、[救急活動セグメント]を正しく [救急活動セグメント]と判定したのは 35 件であり、[救急活動セグメント]であるにもかかわらず [その他]と判定したのは 5 件であった。このため、救急活動セグメントに対する検出性能は高く、救急活動区間を網羅的に抽出する前処理として有効であるこ

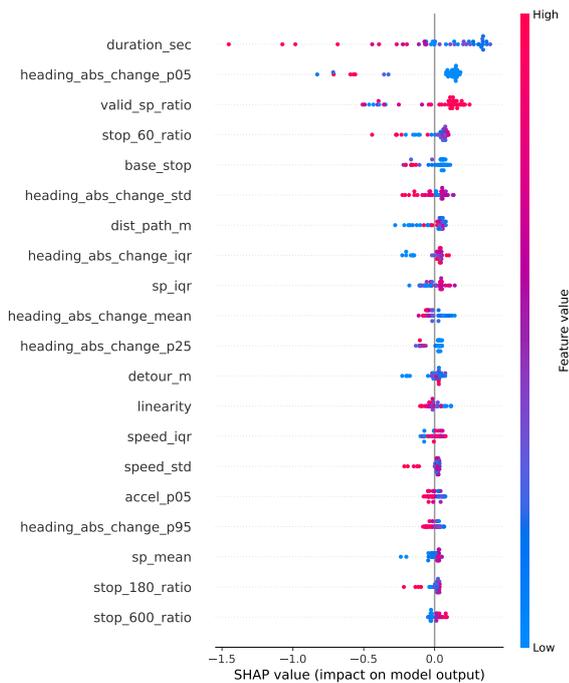


図 3 SHAP による救急活動セグメント候補の分類における特徴量重要度 (上位 20 個の特徴量)

とが示唆される。

#### 4.4 特徴量の分析

図 3 に、SHapley Additive exPlanations (SHAP) [10] により算出した特徴量寄与度の上位 20 件を示す。図中のそれぞれの点は、1 つのセグメント候補に対する SHAP 値を表している。横軸は分類に対する寄与度を示し、正の値は [救急活動セグメント] と分類する寄与を、負の値は [その他] と分類する寄与を表す。縦軸は特徴量名を示し、上に位置するほど平均絶対 SHAP 値が大きく、モデルの出力に対する寄与が大きい重要な特徴量であることを意味する。また、各点の色は特徴量値を表し、赤色ほど値が大きく、青色ほど値が小さいことを示す。また、それぞれの特徴量における点の横方向の分布は、その特徴量の寄与度の分布、すなわちモデル出力に与える影響のばらつきを表す。

図 3 より、最も寄与度の大きい特徴量は所要時間 `duration_sec` であり、セグメントの継続時間が救急活動判定に強く影響していることが確認できる。SHAP 値の分布より、所要時間が小さいほど正の方向に寄与し、救急活動セグメントとして分類される傾向があり、反対に値が大きい場合は [その他] と判定する方向に寄与する傾向が見られる。この結果は、救急活動は比較的短時間で完了する 경우가多く、長時間継続する移動は待機運用や帰還移動などの非救急活動に対応する可能性が高いことを示唆している。

次に寄与度が大きい特徴量は、方位変化量の下位 5 パーセンタイルである `heading_abs_change_p05` であり、値が

小さいほど直進性の高い区間が多いことを意味する。また、方位の変化量の標準偏差 `heading_abs_change_std` や、四分位範囲 `heading_abs_change_iqr` などの方位変化量に関する複数の特徴量が寄与すると評価されている。そのため、進行方向の変化量の小さい区間が分類に影響を与えている。救急活動中の搬送では幹線道路の利用などにより進行方向の変化が小さい区間が継続する傾向があるため、この特徴量が救急活動の判別に寄与している可能性が示唆される。

停止状態に関する特徴量に着目すると、60 秒以上の停止の割合である `stop_60_ratio` が上位に位置しており、これらの値が大きい場合に正の寄与を示している。一方で、より長時間の停止を表す特徴量の寄与度は相対的に低く、停止時間の長さによって重要度が異なることが示唆される。これらの結果は、救急搬送時には停止が少ない一方で、非救急活動時には信号待ちや待機などの短時間の停止が生じやすく、停止挙動の違いが救急活動判別に寄与している可能性を示している。

速度および軌跡の形状などに関する特徴量に着目すると、有効速度データの割合である `valid_sp_ratio` が 3 位と高い寄与を示した。一方で、GPS から算出した速度の平均値 `sp_mean` は 18 位にとどまり、その寄与度は相対的に低いことが確認できる。これらの結果は、単純な平均速度や移動距離も重要であるが、移動中における有効な速度データの割合や、経路の微細な屈曲といった動的な挙動変化のほうが、救急活動とそれ以外の移動を識別する上で重要な指標となることを示唆している。

これらの結果から、救急活動セグメントの分類には、単純な移動距離や平均速度の情報だけでは不十分であり、活動時間を主軸としつつ、停止状態や軌跡の形状特性を複合的に捉える特徴量の設計が有効であると考えられる。

#### 5. おわりに

本研究では、救急車の移動軌跡データから救急活動に対応する区間を救急活動セグメントとして抽出する手法を提案した。提案手法では、待機所領域から病院領域への移動に基づいて救急活動セグメント候補を抽出し、移動時間、距離、速度、加速度、停止挙動、方位変化、および位置関係などに基づく特徴量を用いて、救急活動セグメント候補が救急活動セグメントであるか否かを二値分類した。実験の結果、提案手法により救急活動セグメントを一定の性能で抽出可能であることを確認した。さらに、特徴量分析により、所要時間、方位変化量、停止挙動、および速度関連特徴量が救急活動セグメントの判別に有効であることが示唆された。

今後の課題として、本研究では移動軌跡から算出可能な統計情報を中心に特徴量を作成したが、道路ネットワークなどから得られる情報を加えた特徴量設計があげられる。

例えば、幹線道路利用率、道路種別ごとの走行割合、交差点通過頻度、右左折回数、信号交差点密度などを導入することで、救急搬送時に生じ得る経路選択の特徴をより直接的に表現できる可能性がある。

さらに、本研究では、救急活動候補セグメントをその特徴量に基づき XGBoost を用いて分類したが、測位点列に内在する時間的推移を直接扱うため、時系列を考慮可能な分類モデルの導入や、点系列を入力とする表現学習に基づく分類手法の検討も今後の課題である。

**謝辞** 本研究の遂行にあたり、救急車の移動軌跡データをご提供頂いた大分大学減災・復興デザイン教育研究センター、ならびに大分大学医学部附属病院 災害マネジメント総合支援センターに心より感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 小野貴彦, 吉村総一郎, 清水勇希: 搬送患者の傷病を考慮した救急車の経路選定, 日本機械学会論文集, Vol. 86, No. 891, pp. 20-00223-20-00223 (2020).
- [2] 矢野史花, 小野貴彦: 救急車の実搬送経路と Google マップのナビ機能による経路との比較, 中国四国支部総会・講演会 講演論文集, Vol. 2021.59, p. 09c2 (2021).
- [3] 杉山大貴, 小野貴彦: データベースを利用した救急車の経路探索の高速化, 中国四国支部総会・講演会・講演論文集, Vol. 2019.57, p. 1015 (2019).
- [4] 二神 透, 池田達郎: 松山市救急搬送記録データの時間信頼性と処置時間分析に関する研究, 日本機械学会論文集, Vol. 85, No. 871, pp. 18-00308-18-00308 (2019).
- [5] 山岡 淳: 救急搬送における地域の諸条件と搬送時間の関連性, 経済社会学会年報, Vol. 37, pp. 94-103 (2015).
- [6] KOIKE, N., HIDE SHIMA, E. and YAMAMOTO, K.: The Relation between Regional Characteristics and Running Speed of Ambulances in Emergency Dispatch, *Studies in Regional Science*, Vol. 30, No. 1, pp. 127-140 (1999).
- [7] 木村義成, 濱野 強, 塩飽邦憲: 地理情報システム (Geographic Information System; GIS) を用いた島根県における救急搬送カバー率に関する検討, 日本農村医学会雑誌, Vol. 60, No. 2, pp. 66-75 (2011).
- [8] Chen, T. and Guestrin, C.: XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 785-794 (2016).
- [9] Akiba, T., Sano, S., Yanase, T., Ohta, T. and Koyama, M.: Optuna: A Next-generation Hyperparameter Optimization Framework, *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (2019).
- [10] Lundberg, S. M. and Lee, S.-I.: A unified approach to interpreting model predictions, *Advances in neural information processing systems*, Vol. 30 (2017).