

松山市における救急搬送シミュレータ構築 のための基礎的研究

門脇 玄治¹・二神 透²

¹学生非会員 愛媛大学大学院 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)
kadowaki.genji.06@cee.ehime-u.ac.jp

²正会員 愛媛大学 総合情報メディアセンター (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)
futagami.toru.mu@ehime-u.ac.jp

本論文では、松山市における救急搬送の現状を明らかとすることを目的とする。そのために、松山市の救急車にGPSとWebカメラを搭載して実際の走行データを採取した。そして、得られたデータを用いて、交差点およびリンク内の走行状況の分析を行った。すなわち、救急搬送に影響を及ぼす阻害要因を特定するとともに、救急走行時間の詳細な分析が可能となった今後、得られた結果を踏まえて、ペトリネットを用いた救急搬送シミュレータの開発を行う予定である。そして、救急走行の阻害要因をモデル化して組みこんだペトリネット・モデルを構築することで、現状の救急搬送を再現し、迅速な救急搬送のための改善案の提示と評価を行う。

Key Words : ambulance, GPS and dynamic image data, moving bottleneck, emergency conveyance simulator

1. 序論

近年、救急搬送における平均搬送時間の増加が懸念されている。これは、一刻を争う救急活動において致命的であるといえる。筆者らは、松山市においても同様な傾向が現れているかを知るために、松山市消防局にてヒアリングを行った。その結果、松山市の平均搬送時間も年々増加しており、平成18年から平成21年までの3年間で、およそ1分30秒の増加がみられた。しかし、平成18年から、救急指定病院の輪番制に変化はなく、合併による医療圏域の変化もない。そこで、松山消防局より提供していただいた、平成18年から21年までの搬送記録を用いて、搬送距離の平均トリップ長を算定したところ、3年間で平均トリップ長が90m増加していることがわかった。しかし、この程度のトリップ長の増加は、搬送時間の増加分、1分30秒を全て説明することができないため、何かしらの阻害要因が救急搬送に影響を及ぼしていると考えられる。

前述した救急搬送に関する研究は、現在に至るまで数多く行われている。高山ら¹⁾は、金沢市を対象として、各救急隊の搬送記録から三次救急病院までの時間分布を算定している。しかし、データの制約上、救急車の走行速度を平均時間として仮定することしかできず、救急車

の詳細な走行動態の分析は行われていない。Bartholomewら²⁾は、救急車両に専任のタイムキーパーを同乗させ、1年間の詳細な、覚知から搬送に至るインターバルを記録して時間分布を算定している。しかし、走行の規定要因に関する分析は行われていない。南部ら³⁾は、救急プローブデータに関する研究を行っている。2008年総務省消防庁において実施された、金沢市の1か月間の救急車プローブデータと、一般車両の走行データとして、インターナビのプローブカーデータを用いている。それぞれ同じ期間のデータを取得し、統合分析を行っている。これらのデータにマップマッチングを行い、昼間・夜間の両車両の走行特性を分析している。しかし、交差点間のリンク走行速度の分析であり、具体的な阻害要因に関する分析は行われていない。

そこで、本稿では、救急車両に搭載したGPSとWebカメラより得られた詳細な走行データを用いて、交差点における救急搬送時の進行方向や信号現時、通過時間の関係や、一般車両の避讓行動や路上駐車、歩行者や自転車などの阻害要因が救急車両に与える影響などの分析を行う。これより得られた結果を基に、阻害要因を組み込んだ救急搬送シミュレータを開発し、現状の救急搬送の再現を行う。また、開発したシミュレータを用いて現在の救急搬送の評価と、迅速な救急搬送のための改善案の提

示を行う。しかし、現段階では、シミュレータの開発は行っていないため、今後の課題として触れることとする。

2. データの取得方法と概要

(1) データ取得方法

本稿で用いるデータは、2008年12月11日から2009年4月30日までの約5ヶ月間、松山南消防署の救急車に搭載したGPSとWebカメラより得られたデータである。このデータ取得のために、救急車に搭載されているAC電源を用いたシステムを構成した。図-1にデータ取得システムのイメージを示す。

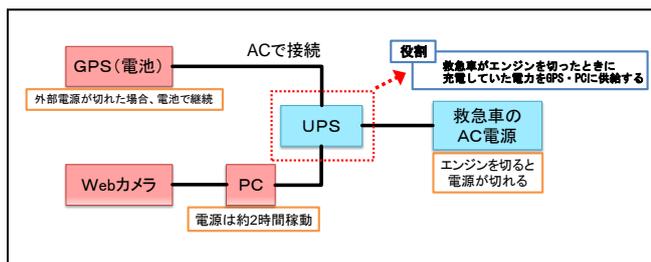


図-1 GPS・動画データ取得システム

このAC電源は、救急車両の出動中には様々な機器の電源として用いられ、消防署での待機中には充電されている。GPSおよびWebカメラは電源供給用ケーブルを用いて、AC電源から電源を供給できるようになっている。しかし、救急車両は、搬送中や病院での待機時間にエンジンを切って停車することがあるため、エンジンを切ってしまうとAC電源から電源の供給ができなくなる。それを回避するために無停電電源装置（以下UPSとする）を用いる。UPSをAC電源と各機器の間に挟み、エンジンが切れたときに、電力の供給が途切れぬようにした。しかし、UPSは10分程度しか電力供給できない装置であるため、エンジンを切る時間によっては、電力の供給が断たれてしまい、データを採取することができなくなる。その問題を解決するために、GPSには、AC電源が断たれた場合に電池から電力を供給するように設定を行い、Webカメラは、接続されたPCの電力により稼働するようにした。このシステムを用いることで、毎日データ回収することなく、継続的にデータデータを取得することが可能となった。

また、動画像については、WebカメラにPCを接続することで、撮影した動画をハードディスクに保存することが可能となっている。図-2にWebカメラとPC設置状況を示す。動画データ1日分の容量は、約3GBであり、使用したハードディスクの容量は、30GBと74.5GBであり、10日間はデータを採取することが可能となっている。しかし、Webカメラを取り付けるだけでは、動画をハー

ドディスクに取り込むことはできない。そこで、動画キャプチャフリーソフトである「Debut Video Capture Software」を用いることにより、webカメラで撮影した動画像が保存可能となる。この動画データは、2時間1セットのデータを24時間取り続けた連続データとなっている。



図-2 Webカメラ、PC設置状況

(2) データ概要

得られたGPSと動画データは連続データとなっているため、一件の搬送毎に編集を行った。その結果、GPSデータのサンプル数は462件、動画データのサンプル数は394件となった。二つのサンプル数に違いがあるのは、データ取得時の電力供給の不備や、配線の接触不良などの問題が発生したためである。

本稿では、動画データから救急車両に対する障害要因を見つけていくため、GPSデータと動画データが対となっている352件の実走行データを用いる。この352件のデータを搬送病院別に分類したものを表-1に示す。

表-1 病院別搬送件数

搬送先病院	件数(件)
愛媛県立中央病院	97
松山赤十字病院	54
松山市民病院	27
松山城東病院	25
松山笠置記念心臓血管病院	24
松山南病院	24
済生会松山病院	18
愛媛生協病院	15
奥島病院	14
野本記念病院	14
梶浦病院	7
平成脳神経外科病院	7
渡辺病院	4
浦屋病院	2
その他	20
合計	352

松山市では、現在、14の病院が救急指定病院に指定されている。表-1より、救急指定病院以外の病院には、20件のみ搬送されており、救急指定病院にほとんどが搬送されていることがわかる。ここで、松山市は、救急指定病院を8つに分け、輪番制で担当を決めている。

3. GPS・動画データ分析方法の開発

(1) 交差点・リンク走行時間算出方法の開発

得られたGPSデータより交差点内、およびリンク走

行時間の算出を行う。

まず、本稿で用いる交差点の定義について述べる。交差点の定義として、交差点の中心の緯度・経度から上下左右 30m 以内の 60m 四方を範囲として定める。例を図-3に示す。

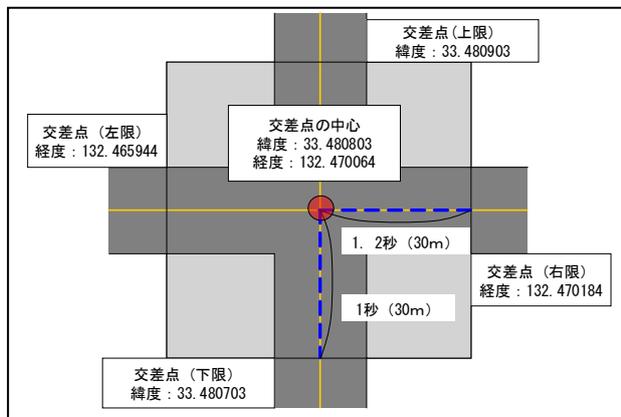


図-3 交差点定義

ここでは、中心緯度を「33.480803」、中心経度を「132.470064」としている。その中心緯度経度から、緯度方向には 1 秒 (約 30m)、経度方向には 1.2 秒 (約 30m) の地点を交差点とリンクの境界線としている。上限は「33.480903」となり、右限「132.470184」となる。それぞれ中心緯度経度から 1 秒、1.2 秒足された数値となっている。下限、左限に関しては、中心緯度経度から引いた数値となっている。

次に、上述した交差点範囲を松山市における信号交差点へ適用するために、救急車両の通過した信号交差点の位置と、中心の緯度経度を取得する必要がある。そこで、救急車両が走行した経路上にある信号交差点の中心における緯度経度を、地図ソフトである「プロアトラス」を用いて確認し、各信号交差点に番号を割り振った。図-4に救急車両の走行経路と交差点番号を記載したシートの一部を示す。図-4の赤い線が走行経路であり、番号の入った白い円が信号交差点の位置、黄色い四角が搬送先病院の位置となっている。

交差点・リンクの走行時間を算出するため、Excelのマクロ機能を用いて「交差点・リンク走行時間算出マクロ」を作成した。「元データ」、「駆けつけポイント設定、リンク・交差点計算開始」、「交差点・リンク走行時間結果」、「交差点時間補正」、「リンク時間補正」、「交差点範囲設定」の6つのシートで構成している。

「元データ」シートは、GPSより得られた緯度経度や時刻などのデータを貼り付け、表示するとともに、どのデータがどの交差点に属するかを判別する。「駆けつけポイント設定、リンク・交差点計算開始」シートでは、駆けつけ場所を「1KP」として、設定可能となっており、「解析開始」ボタンを押すことで、交差点の判別を行う。

「交差点・リンク走行時間結果」シートでは、交差点・リンクの走行時間の算出結果を示している。「交差点時間補正」・「リンク時間補正」シートでは、今回の計算方法での走行時間を詳細に計算するために走行時間の補正を行っている。この「交差点・リンク走行時間算出マクロ」を用いて、得られたGPSデータの分析を行う。

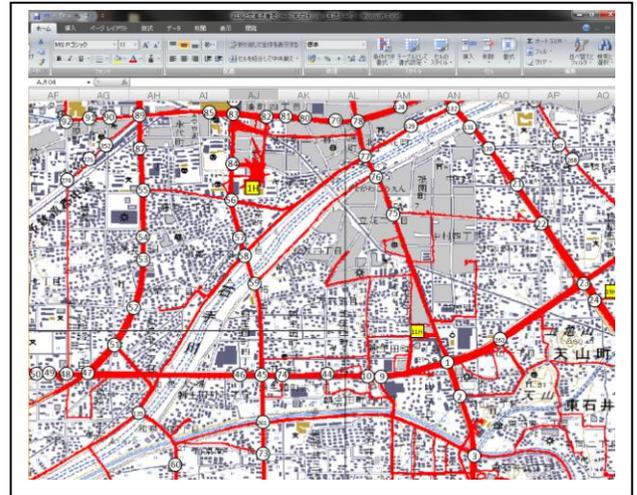


図-4 走行経路および交差点番号シート

(2) 走行動態再現システム

救急車両の搬送時における走行の妨げである阻害要因を分析するためには、GPSデータによる走行軌跡や時間だけでは判断することが難しい。それを可能とするためには、動画データとGPSデータと同期再生することにより、走行時の道路上の交通状態などを把握する必要がある。本稿では、阻害要因を把握するためのシステムとして、GPSデータと動画データを同期再生する走行動態再現システムを用いる。

図-5に走行動態再現システムの基本構成画面を示す。

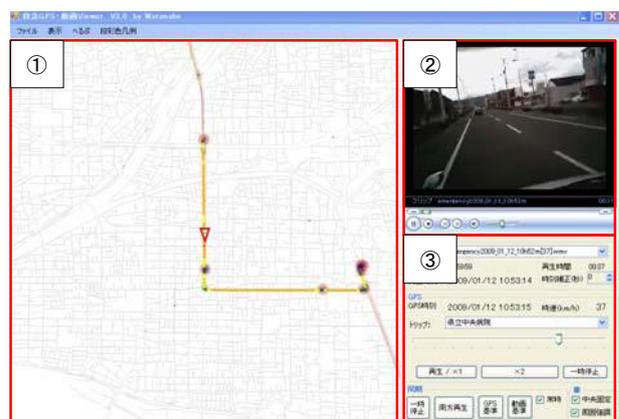


図-5 走行動態再現システム

①は、GPSデータ表示画面、②は、動画の再生画面である。③は、後述するGPSデータ、動画データの解析用各種コマンド画面である。

GPSデータの走行軌跡は、5段階に色分けされている。

これは、走行速度毎に分けられており、青：0～10km、緑：10～20km、黄：20～30km、橙：30～40km、赤：40km～となっている。これにより、その地点における走行速度を瞬時に判断することが可能となっている。また、GPS表示画面上の円は、救急車の停止した時間を表したもので、停車時間の長さに応じて、色の濃淡と円の大きさが変化する。これらの機能により、走行時に何らかの障害によって停止、もしくは減速した地点の特定が容易にできる。

動画再生画面は、Microsoft メディア・プレイヤーの機能と同じであり、再生・停止・早送り・巻き戻しの操作を行うことが可能である。

次に、③GPSデータ、動画データの解析用各種コマンド画面の説明である。動画のファイル名は、西暦年月日時分秒の名前を付けている。この動画ファイル名をコンボボックスから選択すれば、対応するGPSのファイルを検索し同期再生する。また、反対に画面真中央のGPSコンボボックスからトリップを選択すると、対応する動画のファイルを検索し同期再生を行う。また、作業中に発進・停止・右左折などのタイミングに違和感があった場合、時刻修正（秒）の右にあるコンボボックスを用いて、GPSに対する動画の時刻を補正することができる。画面中央下のGPSトラックバーは、動画同様に再生中GPSトリップの開始時刻から終了時刻までの区間を示しており、任意の時刻点をリニアに選択できる。GPSの軌跡を任意の位置に進めるとともに、下側の同期ボタンを用いて、GPS画像と動画座標の同期を行っている。画面下右側は、軌跡表示に関する項目で、中央固定を選択すると、画面の中央に救急車の現在位置が移動し、地図画面がスクロールする。周囲強調を選択すると、現在位置の20秒前後のGPS速度データが太い線で強調される。

救急車の搬送・帰路には幹線道路を走行することが多いため、全走行経路を一律に表示してしまうと往路・復路の表示が重複してしまい非常に視認し難くなる。これに対応するため、現在位置の前方5分、後方2分の領域以外を薄く表示する機能を設けている。対象地域全域の確認、往復全経路の表示などのズームアウト時には、地図を固定し、その上を車輛現在位置が移動する形式を用いると観測しやすい。反対に、ズームアップして車線移動や交差点内での詳細な挙動を観測するなどの際には、地図を固定するとごく短時間で車輛位置が画面外に移動してしまい観測に支障がある。これは、画面中央に車輛位置を表示し、地図の方を移動する形式の方が観測しやすいため、用途に応じてこの二種類を選択できる機能を設けている。

上述したように、「走行動態再現システム」の特徴は、GPSデータから速度を算定して視覚的に表示するとともに、速度低下あるいは停止場所を瞬時に把握し、各種コ

マンドツールを用いて対応する動画データを読み出し、障害要因を確認できる点にある。

(3) 走行障害要因の定義

上述した「走行動態再現システム」を用いて、走行障害要因を分析していく上で、走行障害要因に対する定義が必要であると考えられる。理由としては、障害要因の確認は、自分の目で見ながら行うため、非常に主観的になってしまうことが挙げられる。

まず、交差点部分における走行障害要因として考えられるものを、2009年12月に実施した、松山市の救急ドライバーを対象とした障害要因に関するアンケートを基に抽出した。表-2に交差点・リンクにおける走行障害要因を示す。

表-2 走行障害要因一覧

	走行障害要因
A	信号の色
B	避讓行動不足
C	避讓行動不可
D	逆走
E	道路中央走行
F	車間走行
G	路上駐車
H	自転車
I	歩行者
J	踏切
K	市電

信号の色においては、動画を見ながら、どのタイミングで色を確認するかが重要である。本稿では、停止線を越えた時の信号の色を確認することとした。次に、一般車両の避讓行動についてだが、避讓行動不足と避讓行動不可に分ける必要があると考えられる。その理由として、一般車両が、救急車両が来ても交通量の多さ等の理由から避讓行動したくてもできない状況があると考えられるためである。避讓行動不足においては、一般車両が路肩などに避けられるのに避けなかった場合や、救急車両の進行方向に対して直行に進む車両が止まらないといったことを確認していくこととした。逆走は、反対車線を走行した場合とする。道路中央走行は、片側一車線の道路などで、進行車線と反対車線の間を走行した場合とする。車間走行は、信号待ちや避讓行動中の一般車両の間を走行した場合とする。また、その他の路上駐車、自転車、歩行者については、救急走行の妨げとなっていると考えられる時に障害要因とした。

(4) 動画分析用マクロの開発

走行障害要因を分析していく上で、1つ1つの救急搬送プロセス毎で走行経路が異なり、多くの交差点・リンクで走行障害要因を確認しなければならず、それをまとめていくのは非常に困難であると考えられる。そこで、阻

害要因を効率的に抽出するため、Excelのマクロ機能を用いて、動画像分析用マクロの開発を行った。これにより、交差点・リンク毎に走行阻害要因をデータベース化することが可能となる。

この動画像分析用マクロは、「走行阻害要因分析開始」シートとそれぞれの交差点番号のシートから構成されている。「走行阻害要因分析開始」シートの「阻害要因分析開始」ボタンを押すと、図-6に示すように、交差点・リンクそれぞれに対して、駆け付け・搬送時の走行であるかを選択できる、交差点番号設定・駆け付け搬送モード設定画面になる。



図-6 交差点番号設定・駆け付け搬送モード設定画面
交差点に関しては、対象となる番号を入力し、リンクに関しては、リンク番号はないため、リンクの出発交差点を選択する。

次に、交差点番号設定・駆け付け搬送モード設定後に表示される、交差点・リンクそれぞれの走行阻害要因の選択画面を図-7に示す。

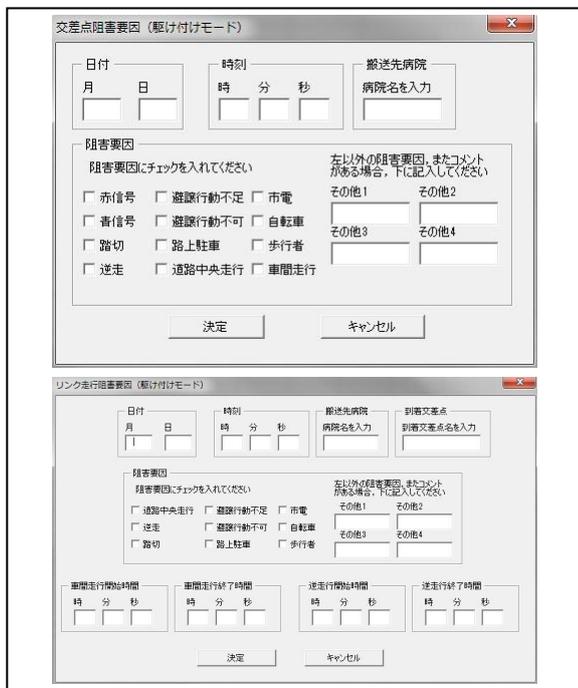


図-7 交差点・リンク阻害要因選択画面

ここでは、日付と時刻、搬送先病院等の基礎情報と、表-2で述べた走行阻害要因の選択が可能となっている。また、リンクに関しては、車間走行および逆走の開始

時刻、終了時刻を入力することで、それぞれの阻害に対して要した時間がわかる。

この動画像分析用マクロを、前述した走行動態再現システムと併用することにより、搬送中の阻害を確認しながら、動画分析用マクロを用いて阻害要因のデータベース化が可能となる。

4. 交差点・リンクにおける走行動態分析

(1)対象区間と交差点番号の設定

本稿で得られたGPS・動画像データ、すべての交差点、リンクについて分析を行うのは困難であるため、対象とする区間を設定する。対象区間を図-8に示す。



図-8 分析対象区間

図-7上の赤い線、および青い点線の道路が、今回対象とする区間である。この区間を対象とした理由は、図-7の右下に位置する松山南消防署から出動した消防車は図上の位置する救急指定病院へ搬送する際、33号線を走行すること、また、三次救急指定病院である愛媛県立病院救急救命センターへ搬送する際の多くは、はなみづき通りを走行することが挙げられる。そして、この対象区間にある交差点に新たに番号を割り振る。新たに割り振った交差点番号を図-9に示す。



図-9 交差点番号

この対象区間を救急車が走行する際の、交差点および

リンクについて分析を行う。

(2) 走行動態分析結果

第3章で述べた分析手法を用いて、救急走行時の交差点、リンクについて分析を行う。

a) 交差点における走行動態分析

まず、対象区間内の各交差点における信号現時別通過時間の平均値を表-3に示す。

表-3 信号現時別交差点内走行時間の平均値

		青信号平均走行時間 (秒)	赤信号平均走行時間 (秒)	時間差 (秒)
交差点1	直進時	6.3	9.7	3.4
	左折時	8.6	13.3	4.7
交差点2	直進時	4.5	8.9	4.4
	左折時	10.3	13.3	3.0
交差点3	直進時	4.9	9.7	4.8
	左折時	8.5	9.4	0.9
交差点4	直進時	5.0	10.3	5.3
	左折時	9.3	10.1	0.8
交差点5	直進時	4.7	9.4	4.7
	左折時	10.0	—	—
交差点6	直進時	4.4	9.0	4.6
	左折時	5.4	10.2	4.8
交差点7	直進時	5.5	9.4	3.9
	左折時	8.8	10.9	2.1
交差点8	直進時	8.8	10.9	2.1
	左折時	12.4	15.6	3.2
交差点9	直進時	14.8	19.5	4.7
	右折時	4.5	10.7	6.2
交差点11	直進時	8.1	9.1	1.0
	右折時	5.5	9.6	4.1
交差点13	直進時	4.9	8.0	3.1
	右折時	6.9	10.1	3.2
交差点14	直進時	10.8	19.8	9.0
	左折時	11.1	14.1	3.0
交差点15	直進時	11.8	18.5	6.7
	右折時	—	—	—

これをみると、時間差にばらつきがあるものの、どの交差点においても、赤信号時の方が通過時間が長くなっていることがわかる。

進行方向別にみると、直進時は、どの交差点においても、大きく差があることがわかる。これは、青信号時は、道路状況を気にすることなく走行できるのに対して、赤信号時は、左右から直進してくる車や歩行者、自転車等に注意して走行しなければならないためであると考えられる。特に交差点17は、環状線と交わる地点であり、交通量が多いことから、その状況が顕著に表れていると考えられる。左折時の差が大きいところは、大きな道路（環状線等）へ向けて左折する交差点1,9,17と非常に狭い道路へ向けて左折する交差点2である。大きな交差点を左折する場合は、赤信号の場合に、右から来る車に注意しながら進まなければならないため、青信号の場合との差が大きくなるのではないかと考えられる。非常に狭い道路へ向けて左折する場合は、その進行方向から車が来ることに気を付けながら走行するため、差が大きくなると考えられる。交差点3,4のような片側1車線の道路に左折する場合は、あまり差がない結果となった。交差点3,4の左折時は、右から来る車が少ないため、差が小さいのではないかと考えられる。

右折時の差が大きい交差点は、交通量が多く、規模の大きな交差点9,17である。その理由として、大きな道路では、赤信号時は、左右から来る車が多く、注意して走行しなければならないため、青信号時の走行に比べ、走行時間が大きくなると考えられる。交差点13のよう

な交差点片側1車線から、片側1車線への右折は、あまり差がない結果となった。

次に、青信号時における阻害の有無による通過時間の差をまとめたものを表-4に示す。

表-4 青信号時交差点内走行時間の阻害による差

		走行時間 (阻害なし) (秒)	走行時間 (阻害あり) (秒)	時間差 (秒)	主な走行阻害要因名
交差点1	直進時	9.7	11.7	2.0	—
	左折時	13.2	—	—	—
交差点2	直進時	8.9	12.0	3.1	—
	左折時	13.3	22.0	8.7	—
交差点3	直進時	9.7	12.3	2.6	—
	左折時	9.4	10.8	1.4	—
交差点4	直進時	10.3	16.0	5.7	—
	左折時	10.1	17.3	7.2	—
交差点5	直進時	9.4	13.1	3.7	—
	左折時	—	—	—	—
交差点6	直進時	9.0	—	—	—
	左折時	10.2	15.2	5.0	—
交差点7	直進時	9.4	13.2	3.8	—
	左折時	10.9	19.7	8.8	—
交差点8	直進時	15.7	20.2	4.5	—
	右折時	19.5	27.6	8.1	—
交差点11	直進時	10.7	—	—	—
	右折時	9.9	11.4	1.5	—
交差点14	直進時	9.6	—	—	—
	右折時	8.0	—	—	—
交差点15	直進時	10.0	15.6	5.6	—
	左折時	19.8	24.4	4.6	—
交差点17	直進時	14.1	15.9	1.8	—
	右折時	18.5	18.9	0.4	—

どの交差点においても、一般車両による避譲行動不足や避譲行動不可が多く、阻害があると同様の信号状態でも、走行時間が遅くなることがわかった。青信号時の走行の走行阻害は、赤信号から変わった直後に多く発生している。その理由として赤信号で止まっているため、車が避けることができず、走行を阻害していると考えられる。

表-5に、赤信号走行時の交差点別走行時間の阻害による差を示す。

表-5 赤信号時交差点内走行時間の阻害による差

	駆け付け時走行時間 (秒)	搬送時走行時間 (秒)	時間差 (秒)
リンク1-2	13.5	16.1	2.6
リンク2-3	29.5	34.3	4.8
リンク3-4	15.5	18.9	3.4
リンク4-5	11.4	13.1	1.7
リンク5-6	16.7	20.6	3.9
リンク6-7	2.8	3.8	1.0
リンク7-8	18.1	22.7	4.6
リンク8-9	10.0	13.4	3.4
リンク4-10	9.0	10.7	1.7
リンク10-11	7.8	8.7	0.9
リンク11-12	32.2	37.8	5.6
リンク12-13	20.5	24.4	3.9

どの交差点においても、一般車両の非常行動不足や避譲行動不可が多く、阻害があると同様の信号状態でも、走行時間が遅くなることがわかった。特に、交差点17の直進時に、ほとんどのデータで直行方向からの車が止まらないといった避譲行動不足が確認できた。その理由として、交差点の見通しが悪く、一般車両が確認できないといったことが考えられる。また、交差点9の右折・直進においても同様のことが確認できたが、この交差点は、見通しが良いことから、直行方向からの避譲行動不足は少なく、進行方向の一般車両が避譲行動できていないことから遅くなると考えられる。その他の避譲行動不可は、信号が赤のため、交差点で一般車両が止まり、赤信号のため、前に出られないような状態であること、車が多く詰まってしまい、避けようにも避けられない状況となっている。

b) リンクにおける走行動態分析

リンクにおける走行時間を算出する際に、患者を載せる前と後で走行に違いがあると考え、消防署から患者の元へ駆け付ける駆け付けモードと、患者を載せて病院へ搬送する搬送モードとに分けて走行時間を算出した。その結果を表-6に示す。

表-6 駆け付け・搬送別リンク走行時間

交差点	直進時	走行時間 (障害なし) (秒)	走行時間 (障害あり) (秒)	時間差 (秒)	主な走行障害要因名
交差点1	直進時	6.3	10.4	4.2	避讓行動不足・不可
	左折時	8.6	15.8	7.2	避讓行動不可
交差点2	直進時	4.5	8.0	3.5	避讓行動不可
	左折時	10.9	15.0	4.1	避讓行動不可
交差点3	直進時	4.9	8.3	3.4	避讓行動不可
	左折時	8.5	10.5	2.0	避讓行動不足
交差点4	直進時	5.0	11.4	6.4	避讓行動不足・不可
	左折時	9.3	13.1	3.8	避讓行動不足
交差点5	直進時	4.7	6.7	1.9	避讓行動不可
	左折時	10.0	15.6	5.6	避讓行動不可
交差点6	直進時	4.4	7.3	3.0	避讓行動不可
	左折時	5.4	11.7	6.3	避讓行動不可
交差点7	直進時	5.4	10.1	4.6	避讓行動不可
	左折時	8.8	11.5	2.7	避讓行動不足
交差点9	直進時	12.4	16.3	3.8	避讓行動不可
	左折時	14.8	18.6	3.8	避讓行動不可
交差点11	直進時	4.5	15.7	11.2	避讓行動不可
	左折時	8.1	—	—	—
交差点13	直進時	5.5	13.6	8.1	避讓行動不可
	左折時	4.9	—	—	—
交差点15	直進時	7.0	11.5	4.5	避讓行動不足・不可
	左折時	10.8	15.4	4.6	避讓行動不可
交差点17	直進時	11.1	12.3	1.2	避讓行動不可
	左折時	11.8	16.2	4.4	避讓行動不可

対象リンク全てにおいて、搬送時走行が大きくなる結果となった。その理由として、駆け付け走行時は、現場までできるだけ早く到着するように走行するが、搬送時走行は、患者を乗せて走行していることや、走行中の処置を行っていることにより、速度を出すことができないため、走行時間が大きくなっていると考えられる。また、走行障害要因分析を行う際は、駆け付け・搬送モードに分けて分析しなければならないことを示唆している。

表-7 に、駆け付け時のリンク別走行時間の障害による時間差を示す。

表-7 駆け付けモード・リンク走行時、障害の有無による時間差

リンク	走行時間 (障害なし) (秒)	走行時間 (障害あり) (秒)	時間差 (秒)	主な走行障害要因名
1→2	13.5	27.0	13.5	車間走行
2→3	29.5	48.3	18.8	車間走行
3→4	15.5	22.6	7.1	避讓行動不足
4→5	11.4	23.5	12.1	車間走行
5→6	16.7	27.6	10.9	避讓行動不足
6→7	2.8	4.4	1.6	避讓行動不可
7→8	18.1	25.3	7.2	車間走行
8→9	10.0	17.6	7.6	車間走行
4→10	7.8	—	—	—
10→11	7.8	—	—	—
11→12	32.2	32.3	0.1	自転車
12→13	20.5	—	—	—

リンク 1→2 からリンク 8→9 までの国道 33 号線では、障害が発生することにより、走行時間が大きくなっていることがわかる。多くみられた走行障害要因は、車間走行であった。国道 33 号線が、車の走行が多く、渋滞することにより、一般車両が両サイドに避け、その間を走行しているため、遅くなっていると考えられる。同様に、走行車両が多いため、避讓行動不足や避讓行動不可が起りやすくなっていると考えられる。ただし、リンク 6→7 に関しては、距離が短いために時間差が非常に小さくなっていると考えられる。リンク 4→10 からリンク 12→13 までののはなみづき通りでは、逆走・道路中央走行を除くと、障害はほとんどない。リンク 11→12 でみられた障害は、路側帯を自転車が通っていたことである。しかし、横を通る際も速度を落とさずに走行していた。これは、路側帯が広いこと、走行に影響を及ぼさないの

ではないかと考えられる。

表-8に、搬送時のリンク別走行時間の障害による時間が差を示す。

表-8 搬送モード・リンク走行時、障害の有無による時間差

リンク	走行時間 (障害なし) (秒)	走行時間 (障害あり) (秒)	時間差 (秒)	主な走行障害要因名
1→2	16.1	33.6	17.5	車間走行
2→3	34.3	62.9	28.6	車間走行
3→4	18.9	29.4	10.5	車間走行
4→5	13.1	21.6	8.5	車間走行・避讓行動不足
5→6	20.6	25.7	5.1	避讓行動不可
6→7	3.8	8.0	4.2	車間走行・避讓行動不可
7→8	22.7	32.4	9.7	車間走行
8→9	13.4	21.6	8.2	避讓行動不可
4→10	10.7	9.5	-1.2	路上駐車
10→11	8.7	—	—	—
11→12	37.8	35.6	-2.2	路上駐車
12→13	24.4	32.0	8.4	避讓行動不可・不足
13→14	23.8	27.4	3.6	避讓行動不可
14→15	22.4	23.2	0.8	路上駐車
15→16	9.8	—	—	—
16→17	26.2	30.6	4.4	避讓行動不可

リンク1→2からリンク8→9までの国道33号線では、障害が発生することにより、走行時間が大きくことなっていることがわかる。多くみられた走行障害要因は、車間走行であった。駆け付け時と同様に、交通量が多いため、車間走行とともに、避讓行動不足や避讓行動不可が発生しやすくなっていると考えられる。また、これらの障害は、信号待ちの車列によって引き起こされるため、信号交差点が起因となっている。やはり、救急搬送においては、交差点を起点に引き起こされる障害を、いかに取り除くかが重要となるだろう。

c) 走行動態分析まとめ

上記の交差点、リンクにおける走行動態分析の結果より、仮に、全て青信号の交差点を走行し、障害が全くないリンクを走行した場合と、信号は全て赤で、リンクにおいては何かしらの障害があった場合とで、比較を行った。その結果、交差点1から交差点9まで直進したルートでは、113.1秒、交差点1からはなみづき通りを通り、交差点17へ走行するルートでは、93.2秒の差があることがわかる。これは、あくまで各交差点内、およびリンクの走行時間の平均値を足したものに過ぎないが、信号制御と避讓行動などの障害要因を解消することで、搬送時間の短縮に繋がることを示した。また、今回対象とした区間は搬送経路の一部であり、より長距離を搬送した場合は、障害の解消により大幅な搬送時間の減少がみられると考えられる。

5. 結論

GPS・動画像データを用いて、着目した17の交差点と16のリンクについて、救急走行動態の現状分析を行った。交差点走行においては、進行方向に関係なく、赤信号が走行に影響を与えていることが明らかとなった。また、交差点では、赤信号のほか、一般車両における避讓行動不足・不可によって救急走行が妨げられていることがわかった。その解決策として、FASTにより信号現時を赤から青にすることが、救急車の走行時間の短縮策として有効であることを示した。また、一般車両の避讓行動

の向上のために、電子掲示板による情報伝達も有効ではないかと考えられる。

リンク走行は、駆け付け・搬送モードに分けて分析を行った。駆け付け・搬送モードで分けた分析で、国道33号線では、車間通過、一般車両の避讓行動不足・不可がリンクの走行に影響を与えていることがわかった。また、これらの障害は交差点を起点に引き起こされるものであり、交差点における障害解消のための対策の重要性を示唆している。

今後は、今回得られた走行時間や障害の基礎データを基に、離散事象システムであるペトリネットを用いて、障害ネットを組み込んだ救急搬送シミュレータの開発を行う。具体的には、救急車と一般車車両の混在ペトリネットモデルの構築、一般車両の避讓行動等の障害ネットの組み込み、FASTや救急情報掲示板などの改善策のモデル化などを行う。これによって、救急走行を再現した上で、現在の救急搬送の評価、および迅速な搬送が可能となる案の提示を行う。

謝辞：最後となりましたが、本稿を進める上で貴重な資料の提供をいただいた、松山南消防署の方々、ならびに松山消防の救急隊の方々にご心より御礼を申し上げます。そして、ヒアリングに協力いただいた、南松山病院の前川総一医師、ならびに松山中央消防署署長竹村様にご心より御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 高山純一, 田中悠祐, 中山昌一郎: 救急車の走行時間信頼性からみた救急力評価に関する研究—金沢市における三次救急—, 土木計画学研究・論文集 19, pp.237-244, 2002.
- 2) Bartholomew, J.T. et al., Requiring On-line Medical Command for Helicopter Request Prolongs Computer-Modeled Transport Time to the Nearest Trauma Center, Prehospital and Disaster Medicine, Vol.11, No.4, pp.35-38, 1996.
- 3) 南部繁樹, 吉田傑, 赤羽弘和: プローブデータの分析に基づく救急車への緊急走行支援方策の検討, IATSS Review, Vol.34, No.3, pp.55-62, 2009.

FUNDAMENTAL RESEARCH FOR THE EMERGENCY CONVEYANCE SIMULATOR CONSTRUCTION IN MATSUYAMA CITY

Genji KADOWAKI, Toru FUTAGAMI

This paper aims at clarifying the present condition of emergency conveyance in Matsuyama City. Therefore, GPS and a Web camera were carried in the ambulance of Matsuyama City, and actual moving data was extracted. And the moving situation in a crossing and a link was analyzed using the obtained data. That is, the analysis which specifies the prevention factor which has on emergency conveyance and in which emergency moving time is both detailed was attained.

From now on, based on the obtained result, the emergency conveyance simulator using a Petri net is due to be developed. And by developing the Petri net model which modeled and incorporated the prevention factor of the emergency moving, the present emergency conveyance is reproduced and the presentation and evaluation of an improvement proposal for quick emergency conveyance are performed.