

救急車の実走行データを用いた 救急搬送シミュレータの開発のための基礎分析

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)
E-mail: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)
E-mail:futagami.toru.mu@ehime-u.ac.jp

本稿では、救急車に搭載したGPSとカメラより取得した実走行データを用いた救急搬送シミュレータの開発について述べる。現在、研究対象となる松山市においては、救急活動に要する平均時間が増加傾向にある。これは、救急車が走行する一般道路において、何かしらの走行の妨げが引き起こされているからだと考えられる。そこで、本稿では、先行研究より得られた救急車の詳細な走行時間、阻害要因などの実際の救急活動データと、ペトリネットという概念を用いた救急搬送シミュレータを構築することにより、現状の救急搬送の評価・検討、および改善案の提示を行うための支援ツールの開発を行う。

Key Words : GPS data, video data, emergency ambulance, prevention factor of driving, petri-net

1. はじめに

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、救急車が走行する一般道において、モータリゼーションの進展により、自動車交通量が増えたことによる渋滞などの走行の妨げが原因であるとされ、一刻を争う救急活動において、その改善は急務となっている。現在、松山市においても同様な傾向が現れている。松山市消防局にてヒアリングを行った結果、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、市町村合併による医療圏の変化もない。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、一般道における救急走行を妨げる阻害要因が引き起こされていることを裏付ける結果となった。

そこで筆者らは、先行研究^{1) 2)}として、松山市の救急車に搭載したGPSとカメラより得られたデータを基に阻害要因が救急搬送に与える影響の分析を行ってきた。具体的には、GPSより得られたデータより、救急車の詳細な走行軌跡、時間、速度を知ることができる。さらに、カメラより得られた動画データより、各地点における交通状態を視覚的に確認ができる。この研究により交差点

やリンクにおける詳細な走行時間の算出、阻害要因の抽出、および走行に与える影響を明らかにすることが可能となった。しかし、交差点・リンクの分析は対象とする範囲が限定されているため、救急活動全体の評価を行うことができない。

そこで本稿では、救急活動の評価・検討を行うための支援ツールとして、ペトリネットシミュレータを適用させた救急搬送シミュレータの構築を行う。

前述した、ペトリネットシミュレータを適用したシミュレータ開発に関する研究は、南部ら³⁾によって行われている。南部らは、地震時における消防車の出動シナリオを、ペトリネットを用いてシミュレーションしている。具体的には、火災・通報・司令・出動の4つのシナリオをマクロシミュレーションとして構築し、地震時に起こる緊急車両への走行の妨げを阻害という形で考慮している。また、消防車の走行に関しては、より詳細なマイクロシミュレーションを構築し、走行時間の算出を行っている。しかし、シミュレータに与えるリンク間の消防車の走行時間などのパラメータが仮定のものであるため、再現性に問題があると考えられる。

これらのことを踏まえ、本研究の目的は、ペトリネットシミュレータと、先行研究より得られた救急車の実走行データを用いて、一般道路における走行阻害を考慮した救急搬送シミュレータを構築することである。これにより、救急車の走行を再現することで、現状の救急搬送の評価・検討を行い、課題を整理することで、より迅速な救急搬送が可能となるための改善案の提示を可能とす

る。

2. ペトリネットシミュレータ概要

(1) ペトリネットとは

ペトリネットとは、1962年にドイツの C.A.Petri が離散事象システムをモデル化するために考案したツールである。離散事象システムとは、事象の生起により離散状態が推移するような動的システムの総称である。ペトリネットは、事象の生起を、原因から結果が生じるように捉える(図-5 上側)。そして事象の生起によって状態を次々に推移させる事で現象を模擬的に現出する事が出来る。この事を以後、ペトリネット・シミュレーションとする。

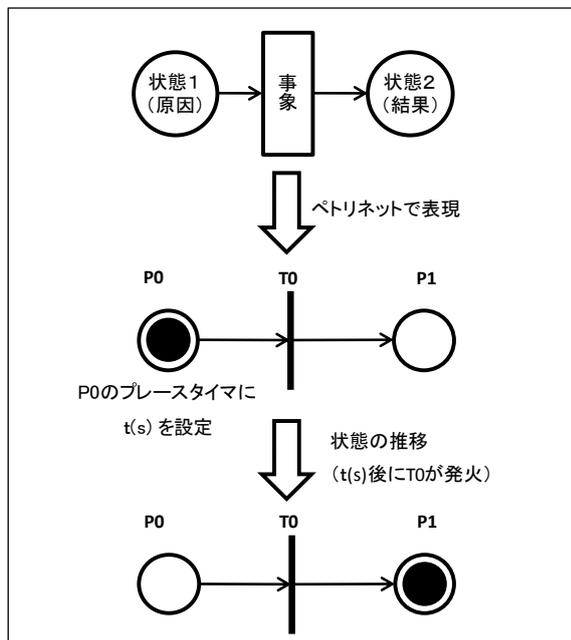


図-5 ペトリネットの基本概念

ペトリネット・シミュレーションでは、基本的に4つの道具だけで構成される。例えば、図-5 上側図を4つの道具で表現すると、図-5 真中図となる(ペトリネット・シミュレーションの基本構造)。そして「状態1」から「事象」を経て「状態2」へ移行する様子を、P0に存在するトークンが、P0の持つプレースタイムが消費された瞬間に、T0が発火し、P1へ移動する事で表現する(図-5 下側図)。なお、「プレースタイム」とは、プレース内にトークンがマーキングされた瞬間から、そのトークンが推移可能になるまでの時間の事である。また、「発火」とは、あるトランジションの全入力プレースからトークンを各々一つ取り去り、全出力プレースにトークンを各々一つマーキングする事である。

プレースタイムの他に、シミュレーションでの重要な設定要素として「発火の抑止」と「カラー」がある。「発

火の抑止」とは、ある状態(プレース)が事象の生起(トランジションの発火)を阻害する様子を表現する設定要素である。図-6の抑止アーク(点線)によって抑止は表現される。

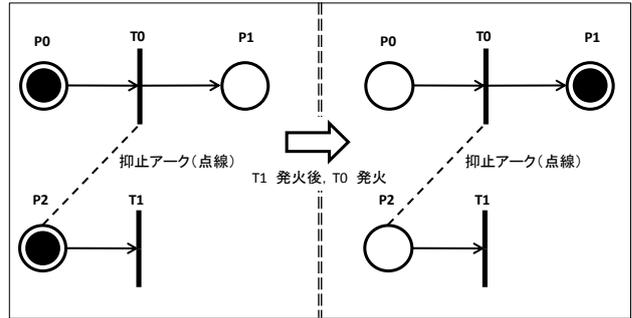


図-6 抑止の説明図

抑止アークが接続しているプレース(P2)内にトークンが存在する間、接続しているトランジション(T0)の発火を抑止する(図-6 左側図)。P2にトークンが存在する限り、T0へ入力するプレース(P0)のプレースタイムが消費されていても、T0は発火しない。なお、P2のプレースタイムが消費されてT2が発火し、P2からトークンが消えれば、T0は発火できる(図-6 右側図)。次に「カラー」とは、状態の推移に確率を持たせる設定要素である。具体的には、図3-1-3 上側図のT0が発火する時、推移したトークンにカラーが与えられる。なお、T0のように、自身の発火によって推移したトークンへ、カラーの与えるトランジションをカラー生成トランジションと呼ぶ。本論では便宜上二重線で表示する。カラー生成ト

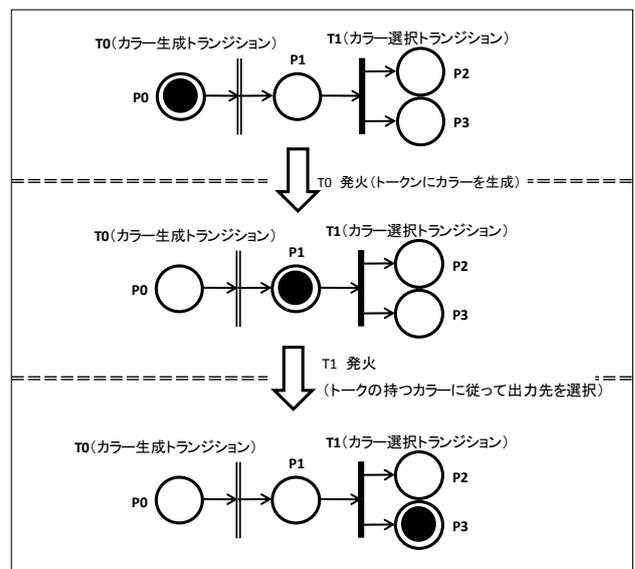


図-7 カラーの説明図

ランジションは、例えばP2へ向かうカラー(カラー1)が確率30%、P3へ向かうカラー(カラー2)が確率70%で発生するというように設定される。そして図3-1-3

真中図の P1 のトークンにカラー2が与えられている場合、T1 発火後に P3 へ推移する。なお、T1 のように、カラーを持ったトークンを、カラーの種類に従って出力先を選択するトランジションをカラー選択トランジションと呼ぶ。

以上のような設定要素と図-5 のような基本構造を様々に組み合わせて、ペトリネット・シミュレーションは実行される。

(2) シミュレーション対象区間

今回、シミュレーションの対象とする区間は、図-8に示す、松山南消防署を出勤してから、国道33号線を通って天山交差点へ走行するルートである。このルートを選んだ理由としては、一つ目に、南署を出勤した救急車が多くの場合走行する国道33号線は交通量が多いため、一般車両による阻害が引き起こされる可能性が高いことである。二つ目に、天山交差点を通ることである。天山交差点は松山市における交差点の中で最も交通量が多く、救急搬送におけるボトルネックになっていると考えられる。

以上の観点より、この区間における救急搬送シミュレーションの構築を行う。

(3) シミュレーション構築のための基礎分析

表-2は、対象区間を交差点ごとに区切り、その間をリンクと定め、現場へ駆け付けける走行と、患者を載せて病院へ搬送する走行とに分けたうえで、阻害がある場合とない場合の平均走行時間と標準偏差を表している。救急業務は、患者収容連絡を受けた後、駆け付け、搬送、帰署といった、3つのモードを持つ。駆け付け時は、患者を載せていないが、搬送時には患者が収容されている。帰署時は、一般車と同様な自由走行となる。救急ドライバーにヒアリングを行うと、患者の容態を見ながら走行する搬送時は、スピードを落とし、揺れによる患者への負荷を軽減しなければならないと答えていた。そこで、同じリンクでも、駆け付け時と、搬送時で走行速度が異



図-8 シミュレータ対象区間

なるかについての分析を行う。ただし、ビデオ画像を見ることにより、走行阻害があった場合のデータを除き、搬送時間の差異を見ることとした。走行阻害とは、車間の道路中央走行の有無と時間、逆走行の有無と時間、踏切の有無、避譲行動不足の有無、避譲行動不可、路上駐車の有無、市電軌道の有無、自転車阻害の有無、歩行者阻害の有無を視覚で判断したものである。この結果を見ると、全て1%で有意であった。すなわち、駆け付け時と、搬送時では、明らかに走行速度が異なることを明示することができた。さらに、阻害率の高いリンクに着目すると、No.2(2→3)が駆け付け阻害率60%、搬送時42%、No.3(3→4)は、駆け付け阻害率60%、搬送時27%、図-8、9に、これらの阻害率の高いリンクについて、リンク走行時間の分布を詳細に示す。No.2、No.3のリンクは、消防署から国道33号線に流入してすぐの区間である。消防署から国道へ流入してすぐの交差点は、松山インターチェンジからの車が合流するポイントであるため、この区間は渋滞が頻発する。表-1の阻害内容をビデオ画像で確認すると、渋滞しているが中央分離帯があるために、救急車は、前方の2車線の車を割りながら進んでいる状況

表-2 駆け付け時・搬送時別リンク走行時間・阻害特性ならびに有意差検定

No.	リンク名	駆け付け					搬送					有意差 ** : 1% * : 5%
		データ個数		阻害率	平均・標準偏差(秒)		データ個数		阻害率	平均・標準偏差(秒)		
		阻害無	阻害有		平均値	標準偏差	阻害無	阻害有		平均値	標準偏差	
1	1→2	123	8	0.07	13.4	2.1	57	2	0.04	16.2	2.9	**
2	2→3	64	38	0.59	29.5	3.4	48	20	0.42	34.3	4.5	**
3	3→4	35	21	0.60	15.4	2.3	67	18	0.27	18.8	3	**
4	4→5	27	6	0.22	11.3	2.1	42	5	0.12	13.1	2.5	**
5	5→6	10	1	0.10	16.7	2.1	60	3	0.05	20.5	2.9	**
6	6→7	8	3	0.38	2.8	0.4	62	7	0.11	3.8	1	**
7	7→8	8	3	0.38	18.1	3.5	53	20	0.38	22.7	2.8	**
8	8→9	7	4	0.57	10	2.6	53	23	0.43	13.4	2.6	**

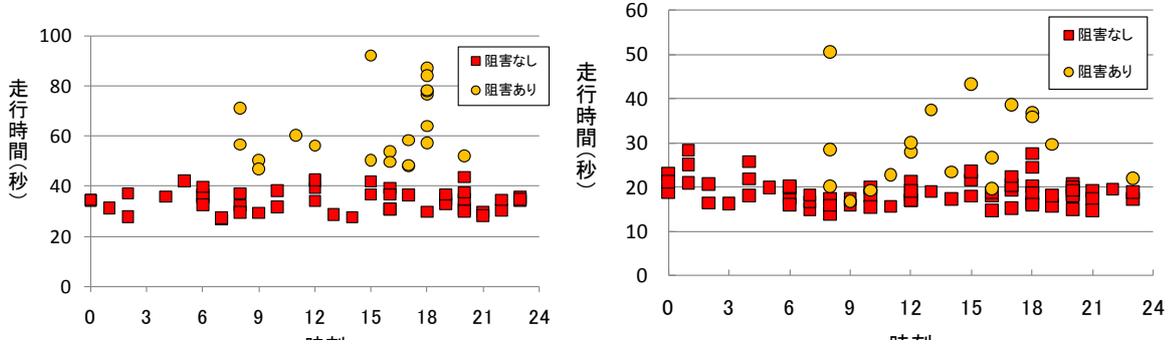


表-3 信号現時別交差点内平均走行時間

交差点	進行方向	青信号平均走行時間(秒)	赤信号平均走行時間(秒)	時間差(秒)
1	直進	8.4	10.7	2.4
2	直進	6.3	10.5	4.2
3	直進	6.6	11.0	4.4
4	直進	8.2	13.2	5.0
5	直進	5.7	11.3	5.6
6	直進	5.9	9.0	3.2
7	直進	8.6	12.7	4.2
8	直進	7.8	11.3	3.5
9	直進	10.2	15.3	5.2

を確認できる。

また、表-3は、対象区間の各交差点における、信号現時別の平均走行時間と、その時間差である。これを見ると、どの交差点においても、やはり赤信号によって走行時間の増加が見られる。このことから、救急搬送において信号がネックになっていることを示唆していると考えられる。

図-10から図-14、および表-4から表-6は、図-8で触れた松山市において最も交通量の多い天山交差点において、各進行方向における、信号現時別の走行時間分布を障害の有無により色分けしたものと、その平均時間である。

表-4より、信号現時別、障害の有無による走行時間差を見ると、赤信号走行時間が3.2秒遅くなっていることがわかる。理由として、左折時の青信号走行時は、歩行者のみに注意すればよいのに対して、赤信号時走行は、右から来る車と歩行者等に注意する必要があるため、遅くなっていると考えられる。そして、動画像分析を行うことによって得られた走行障害要因の多くが、青信号・赤信号時走行ともに、一般車両による避譲行動不足・不可であった。

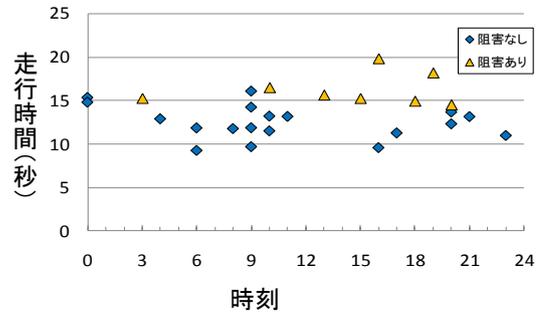


図-10 左折時(青信号・障害有無) 走行時間分布図

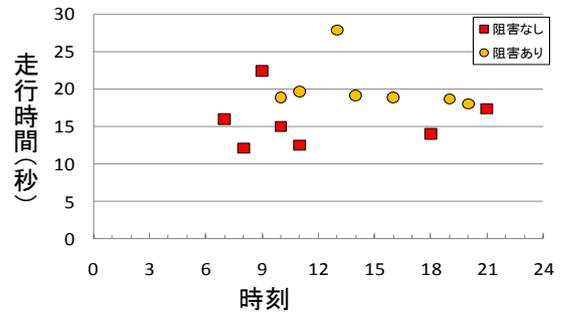


図-11 左折時(赤信号・障害有無) 走行時間分布図

表-4 左折時信号別の障害有無平均走行時間

	障害なし	障害あり
青信号平均走行時間(秒)	12.4	16.3
赤信号平均走行時間(秒)	15.6	20.2

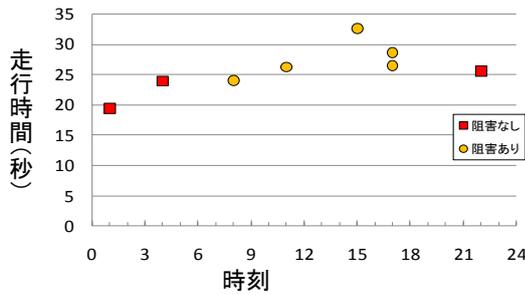


図-12 右折時(青信号・障害有無) 走行時間分布図

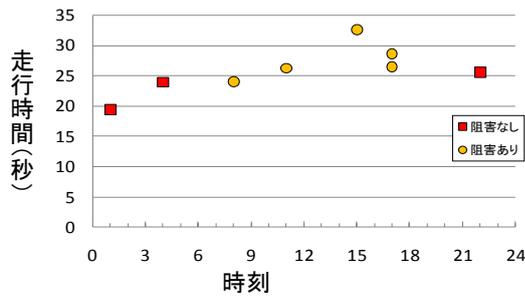


図-13 右折時(赤信号・障害有無) 走行時間分布図

表-5 右折時信号別の障害有無平均走行時間

	障害なし	障害あり
青信号平均走行時間(秒)	14.8	18.6
赤信号平均走行時間(秒)	19.5	27.6

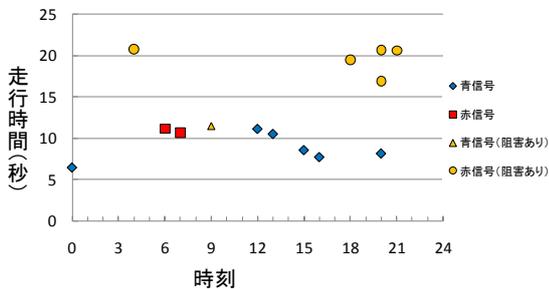


図-14 直進時(青信号・障害有無) 走行時間分布図

表-6 直進時信号別の障害有無平均走行時間

	障害なし	障害あり
青信号平均走行時間(秒)	8.8	11.5
赤信号平均走行時間(秒)	10.9	19.7

表-5より、一信号現時別、障害の有無による走行時間差を見ると、赤信号走行時間が4.7秒遅くなっていることがわかる。理由として、右折時の青信号走行時は、対向車と歩行者等に注意すればいいのに対して、赤信号時走行は、左右から来る車と歩行者等に注意する必要があるため、遅くなっていると考えられる。挙動を見ると、青信号時は、走行直前の赤信号により、車が多く交差点前

に止まっていることにより、これらの走行障害が発生していた。一方、赤信号走行時は、左右からの車が止まらない避讓行動不可、直行方向の車による避讓行動不足が、走行障害となっていた。

表-6より、信号現時別、障害の有無による走行時間差を見ると、赤信号走行時間が2.1秒遅くなっていることがわかる。理由として、直進時の青信号走行時は、道路状況に影響を受けず走行が可能なのに対して、赤信号時走行は、左右から来る車と歩行者等に注意する必要があるため、遅くなっていると考えられる。

(4) 考察

前節に示した障害要因や走行時間をパラメータとしてシミュレーションに与えたいと考えている。障害要因は交通状態に左右されるため、定量化した正確な値を与えることは、困難である。しかし、動画分析を今後より詳細に行うことで、障害発生頻出箇所の特定し、また、全搬送に占める障害発生割合を求めることができれば、ある地点における障害発生確率を考慮したシミュレーションが構築できると考える。そのためにも、まずは、信号交差点を考慮した基本ネットを構築する必要がある。しかし、現在シミュレーションは開発途中である。

5. まとめと今後の課題

本稿では、先行研究で行ってきた、GPS・動画データより得られた貴重な救急走行データを基に、ペトリネットによるシミュレーションを構築する過程を示した。やはり、ボトルネックとなる交差点・リンクにおける走行障害をどのようにパラメータとして与えていくかが課題となる。ペトリネットは、時間や確率などを与えることができるため、今回の基礎分析で得られた結果を用いることで、障害をシミュレーションに組み込み、救急搬送を再現することで、障害発生有無での走行時間差を求め、救急搬送をより迅速に行えるような改善策の提案ができるだろう。

謝辞：本研究を進める上で貴重な資料の提供をいただいた、南松山病院の前川聡一医師をはじめ、松山南消防署の方々、ならびに松山消防の救急隊の方々、松山中央消防署前署長竹村様に心より御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 二神透, 河口尚紀, 門脇玄治, 前川聡一, 渡部正康: GPS・動画像データを用いた救急車両の走行動態分析, 土木計画学研究・論文集vol42, CD-ROM, 2010.
- 2) 門脇玄治, 二神透: 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, 土木計画学研究・論文集vol43, CD-ROM, 2011.
- 3) 南部佳郎, 木俣昇, 二神透: 緊急車両の地震時広域出動シナリオのペトリネットシミュレーション開発, 土木計画学研究・論文集vol36, CD-ROM, 2007.

(2011. 8.5 受付)

BASIC ANALYSIS FOR DEVELOPMENT OF PETRI NET EMERGENCY CONVEYANCE SIMULATOR USING REAL RUNNING DATA

Genji KADOWAKI, Toru FUTAGAMI

In this text, the development of the ambulance transportation simulator that uses the real running data acquired from GPS and the camera installed in the ambulance is described. It is in the emergency activity and it is in the increasing tendency in Matsuyama City that researches now between the mean time that requires it. This is thought that it is because the obstruction of running about what loans is caused in the public highway where the ambulance runs. Then, the supporting tool to evaluate the current state, to examine ambulance transportation, and to present the improvement idea is developed by constructing actual emergency activity data of the obstruction factor etc. and the ambulance transportation simulator that used the concept of petri net detailed running time of the ambulance obtained from the previous work in this text.