

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*

Development of Petri-net Simulation for Mobilization Scenario of Fire Engines at Earthquake*

南部佳郎**・木俣 昇***・二神透****

By Yoshiro NANBU**・Noboru KIMATA***・toru FUTAGAMI****

1. はじめに

市町村合併の進展に伴い、消防防災システムには、地震時広域出動シナリオの検討が求められてきている。著者らは、その基礎となる地震時緊急車両走行のペトリネットシミュレーション法^{(1),(2)}を開発・検討してきている。この方法は、背景画像上で出動基地から現場までの走行経路を想定し、プレースとトランジションよりなる走行事象ネットを構成し、それに、地震阻害を伴う走行阻害ネットや、阻害に伴う引き返しネットを結合化することで、地震時緊急車両の走行性を実空間との対応性の下で視覚化させる点に特徴を持つ。本研究では、上述したように、市町村合併に伴い、責務地域の広域化と多様化、消防防災システムの本省・支所化に対応するために、合併自治体レベルでの運用を想定し、まず、緊急車両の走行広域ネットを、GPS 走行データを活用する方式で構成する手順を示し、次に、背景画像上でのネット表示を基に、出動シナリオの組み入れを行う形のシミュレーションシステムについて検討する。

2. 緊急車両出動のペトリネットシミュレーション法

(1) 緊急車両出動の基本ペトリネット

ペトリネットは事象の生起による対象システムの状態推移を視覚的に容易にグラフ形式で表現する手法である。「○」と「□」をプレース、「|」をトランジションと呼び、状態の生起を「●」あるいは「■」で示されるトークンで記述する。トランジションの発火則は、すべての入力プレースにトークンが存在し、抑止プレースにトークンが存在しないときに発火する。つまり緊急車両を示すトークンが移動することで緊急車両の進行を表現する。

図-1 は緊急車両出動を概念的にペトリネットで表現し

*キーワード：防災計画、計画手法論、システム分析

**学生員、金沢大学大学院自然科学研究科

***正員、工博、金沢大学大学院自然科学研究科

(石川県金沢市角間町、

TEL076-234-4914, FAX076-234-4915)

正員、学博 愛媛大学 総合情報メディアセンター

(松山市文京町3 TEL089-927-49837)

たものである。一点破線で示した部分は出動経路部のネットであり、実線の部分は出動基地部のネットである。出動基地では緊急車両の待機及び指令が揃った時に緊急車両は出動する。つまり待機及び指令を示すプレース P3, P4 にトークンが揃った時にトランジション T4 が発火し、出動経路にトークンが打たれ、緊急車両が経路を走行して行くことになる。また緊急車両が走行中に、走行阻害を受ける場合は走行阻害を示すプレースから抑止をかけることで緊急車両の走行性の低下を表現することも可能である。

(2) ペトリネットシミュレータによる実行化

図-1 のようにペトリネットのシミュレーション実行には、S-data と呼ばれるデータ形式が必要となる。

図-2(1)は、図-1 のネットの Sdata である。Sdata には、プレース、トランジション、トークン、発生プレース、生成トランジションの 5 項目の記述がなされる。その記述には、フォーマットに従い、各項目の総数を書き、要素の定義を入力し、項目を「end」や「-1」で区切る形でなされる。

作成された Sdata をペトリネットで実行すると、要素配置を背景画像上で行うことができる。要素は画面上で自由にドラッグすることができ、その結果の座標が自動生成され、図-2(2)のような Ndata として保持される。再実行時には、Ndata により要素配置は不要となる。

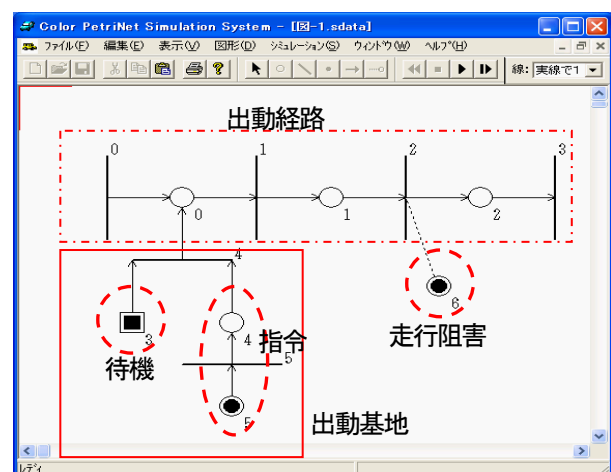


図-1 概念図（実行画面）

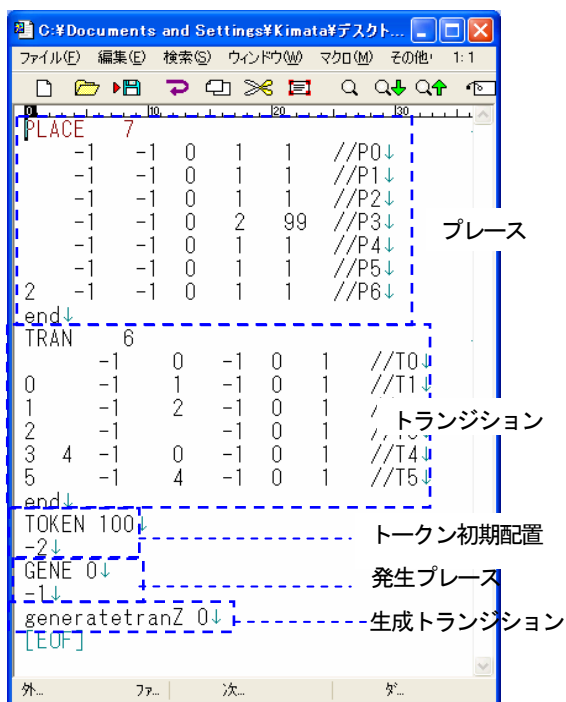


図-2(1) 図-1 の Sdata

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
PLACE	absolutepositix	y	radius	TRAN	absolute	x	y	angle		
0		157	128	12	0		85	128	90	
1		301	128	12	1		229	128	90	
2		445	128	12	2		373	128	90	
3		109	272	12	3		517	128	90	
4		205	272	12	4		157	200	0	
5		205	368	12	5		205	320	0	
6		405	230	12						

図-2(2) 図-1 の Ndata

3. GPSデータによる緊急車両出動ネットの構成法

(1) GPSデータによる Ndata の生成法

本研究では、自治体合併に伴い広域になった地域の防災計画を対象とするため、使用するネットも非常に広域な実空間対応化のものがようになる。緊急車両の広域化に伴う出動先の多様化も表現するために、GPS データによる出動シナリオネットの構成法を検討する。図-3 がその手順である。2 地点間を GPS 搭載車で走行することで得られるデータを基に、ペトリネットの Ndata と Sdata を生成し、走行経路のネットを自動構築し、さらに、必要なサブネットを加えることで、緊急車両出動シナリオネットを構成していく。

本項では、GPS データから Ndata を生成するまでの手順(図-3 点線部)を説明する。まず、図-4 は、EXCEL ファイルによって、GPS 搭載車で走行して得られたデータを、「FileSearch」シートで読み込み、「FileRead」シートに地点グラフが生成されるまでを示している。そして、この地点グラフを基に、トランジションの配置箇所を選択を行うと、「GPSNdata」シートに選択したトランジションとプレースの GPS 系の座標が自動出力される(図-4 右上)。なお、プレースの座標は、選択した箇所のトランジションの二点間の中間地点として自動生成されるようにしてある。

次に、この GPS 系の座標を、ペトリネットの座標に変換し、ペトリ系の Ndata を生成する。そこで、まず背景画像上の 2 つの基準点を任意に決め、その地点の GPS 系座標とペトリ系座標を基に、図-4 で生成された GPS 系

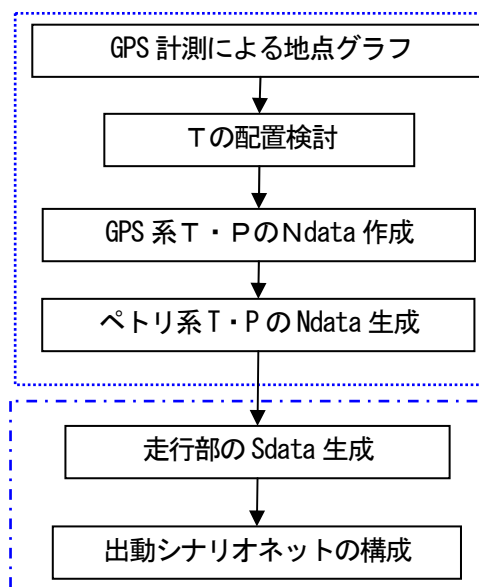


図-3 GPS による出動シナリオネットの構成手順

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
トランジション	半径	緯度	経度	プレース	半径	緯度	経度	車時間			
1	1313784	4913819	1313786	4913826	4						
2	1313785	4913819	1313786	4913826	5						
3	1313786	4913819	1313786	4913826	6						
4	1313851	4913819	1313851	4913826	7						
5	1313851	4913819	1313851	4913826	8						
6	1313851	4913819	1313851	4913826	9						
7	1313851	4913819	1313851	4913826	10						
8	1313851	4913819	1313851	4913826	11						
9	1313851	4913819	1313851	4913826	12						
10	1313851	4913819	1313851	4913826	13						
11	1313851	4913819	1313851	4913826	14						
12	1313851	4913819	1313851	4913826	15						
13	1313851	4913819	1313851	4913826	16						
14	1313851	4913819	1313851	4913826	17						
15	1313851	4913819	1313851	4913826	18						

図-4 GPS 系 T・P の Ndata

Ndata を、ペトリ系座標に相似変換することで Ndata を出力していく。図-5(1)は、この相似変換の EXCEL 画面である。さらに、出力されたペトリ系 Ndata を、ペトリネットシミュレータのフォーマットに出力し直したものが、図-5(2)である。なお、プレースの半径は、デフォルトで与え、トランジションの角度は、2 点のプレース間の位置から自動決定されるものとなっている。

Microsoft Excel - 改Basic-dataファイル.xls

MS Pゴシック 11 B I U 国 算 % , 1000 10000 100000 1000000 10000000 100000000 1000000000 10000000000 100000000000 1000000000000 10000000000000 100000000000000 1000000000000000 10000000000000000 100000000000000000 1000000000000000000 10000000000000000000 100000000000000000000 1000000000000000000000 10000000000000000000000 100000000000000000000000 1000000000000000000000000 10000000000000000000000000 100000000000000000000000000 1000000000000000000000000000 10000000000000000000000000000 100000000000000000000000000000 1000000000000000000000000000000 10000000000000000000000000000000 100000000000000000000000000000000 1000000000000000000000000000000000 10000000000000000000000000000000000 100000000000000000000000000000000000 1000000000000000000000000000000000000 10000000000000000000000000000000000000 100000000000000000000000000000000000000 1000000000000000000000000000000000000000 100 1000 100 1000 100 1000 100 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 1000 100 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 100 1000 1000 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 1000

図-5(1) ペトリ系 Ndata への変換

P-Ndata				T-Ndata			
PLACE	absol x	y	radius	TRAN	absol x	y	angle
0	146	506	6	0	69	514	90
1	356	434	6	1	254	486	66
2	477	578	6	2	457	493	31
3	563	568	6	3	536	643	84
4	623	464	6	4	557	480	78
5	764	449	6	5	685	467	88
6	892	451	6	6	838	460	88
7	1036	463	6	7	950	461	97
				8	1102	452	92

図-5(2) 出力された Ndata



図-6 出動シナリオネット

(2) 出動シナリオネットの Sdata 構成

(1) で生成された図-5(2)の Ndata は、図-6 の走行経路 (点線部) のものである。本項では、この Ndata から Sdata を出力し、さらに Sdata の編集を行うことで、図-6 のような緊急車両出動シナリオネットを構成していく方法を検討する (図-3 一点破線部)。

Ndata から Sdata の出力を行う際、拡張化作業の容易性のため、図-7 の EXCEL ファイルに出力し、種々の編集後、図-2(1)のようなテキスト形式に直し、Sdata を生成する方法を用いることにした。なお EXCEL での Sdata 編集は、各項目の総数の変動に対応するため、項目を横書きにしている。

図-5(2)の Ndata では、プレースの総数が No. 0~No. 7 の 8 個、トランジションの総数が No. 0~No. 8 の 9 個である。この数だけ図-7 の EXCEL ファイルに出力するが、図-7 には予めプレースの項目に 1 行だけフォーマットに従い、記述されている (図-7 選択部)。そのため、プレースについては、この行を総数分だけドラッグしてコピーすることで、記述が完了する (図-7 斜線部)。また、プレースタイムに関しては、図-5(1)のタイムをリンクさせて与えている。

トランジションについても、予め 3 行だけフォーマットに従い、記述されているため、プレース同様の作業で

容易に記述を終えることが可能である。これにより図-6 の点線部で示す走行経路の Sdata が生成された。

次に、生成された Sdata の編集を行い、走行経路のネットから出動シナリオネットへと拡張化していく。まず、生成された Sdata をペトリネットシミュレータで実行すると、背景画像上で出動基地や出動先等のサブネットを追加することが可能になる。図-7 では、走行経路の Sdata に、出動基地 2 箇所、仮想出動先 2 箇所のサブネットを追加し、緊急車両の台数も表現するため、トークン初期配置の項目に出動基地 A に 2 台、B に 1 台と設定している (図-7 実線部)。この編集された Sdata をペトリネットシミュレータで実行すると図-6 になる。

また、図-6 では、出動基地 A・B から出動した緊急車両は、全て仮想出動先②に向かうネットになっているが、仮想出動先①に向かわせるシナリオの場合、進路変更の必要な区間に対応するトランジションの入出力関係を、入れ替えることで、逆向きの走行が可能となり、シナリオを表現することが可能である。

このように Sdata の編集により多様な出動シナリオの表現が可能となり、種々のシナリオに応じて、出動シナリオネットを構成していくことが可能となる。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
抑止T番	タイム	カラー	表示	色	//P	番号	コメント	入力P	出力P	種類	表示	//T	番号	コメント	P番号	初期時間					
1	12																				
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					

図-7 Sdata 編集による出動シナリオ反映

(3) 白山市への適用

石川県では、2005年2月1日に松任市をはじめとする8市町村が合併し白山市となった。この自治体合併に伴い、白山市は、旧松任市・旧美川町（海沿い）から旧鶴来町（平野）を含んで旧尾口村・旧河内村・旧白峰村・旧鳥越村・旧吉野谷村（山側）と非常に広域となっており、県内で最大の面積を誇り、人口でも金沢市に次いで2番目となっている。現在、広範囲での緊急車両出動の統合指令及び出動ルートの検討が課題となっている地域の一つである。そこで、本研究では、白山市を対象に緊急車両出動計画支援を行っていく。

3章(1)、(2)で説明した手順で、白山市についてGPSによる緊急車両出動シナリオネットの構成を行う。まず、走行経路について検討すると、白山市は南北に長く位置しており、これを縦断するのが国道157号線、横断するのが国道8号線である。この2本の国道は、白山市の中で最も主要な道路である。また、海側と山側を繋ぐ道路は、国道157号線だけでなく、国道360号線・県道58号線も存在している。以上を走行経路と想定し、GPS搭載車で計測したデータから、Sdataの編集を行い、構築されたネットが図-8である。なお、白山市の出動基地は、白山石川消防本部³⁾を含む5箇所の基地が存在する。

また、図-8では、さらに阻害のサブネットも追加してある。図-8の点線部では、手取川に架かった山上郷大橋が存在しており、地震規模によって倒壊する場合を想定し、確率的に阻害の有無を表現したものである。

4. おわりに

本研究の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は、防災計画の再編及び消防本部の司令官が、的確かつ迅速に統合指令を出すための支援ツールとなることを最終目的としている。そのため、現実の消防防災の系との適合性が高く、汎用性のあるものが求められる。戦略的出動には、出火状況、延焼拡大予測等の情報と消防防災の持ち時間との関係の議論

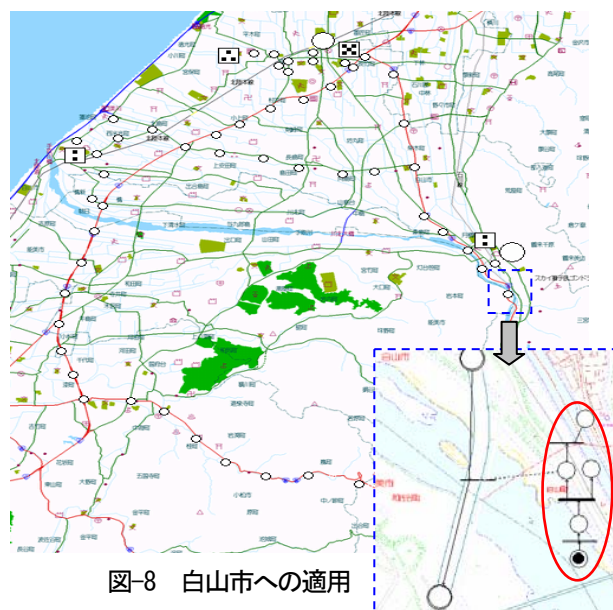


図-8 白山市への適用

が不可欠であり、本研究はそのヒントになると考えている。指令を受けて、緊急車両が出動から現場到着までの時間だけでなく、火災延焼時間と平行して結果を考慮していく必要がある。そこで火災延焼時間については、本研究室で開発してきた火災延焼シミュレータ⁴⁾を適用し、各シナリオでの消防車両出動を評価することで、消防防災システムの向上化が見込まれる。

参考文献

- 1) 木俣, 鷲見: 消防防災システムの阻害要因のペトリネットシミュレーションに関する基礎的研究, 土木計画学研究論文集, 14, pp. 393-400, 1997.
- 2) 堀, 木俣: ペトリネットシミュレータによる背景画像上での地震時緊急路の点検・構築支援システム, 土木計画学研究・講演集Vol. 32 CD-ROM No. 40, 2005.
- 3) 白山石川広域消防本部HP: 平成17年度統計資料, 2005, http://www.hifd.jp/toukei/toukei_index.htm
- 4) 二神透, 木俣昇, 他: 火災延焼シミュレータを用いた防災樹木整備支援システムの開発. 土木計画学研究・論文集, N0. 23, no. 2, 325 ~ 334, 2006. 9