

## - 3 避難ペトリネットシミュレータ・データのシステム化に関する研究

## Research on systematization of refuge Petri-net simulator data

二神 透<sup>1</sup>・木俣 昇<sup>2</sup>

Tohru Futagami, Noboru Kimata

**抄録**：著者らは、ペトリネット・シミュレータを用いた防災計画への適用研究を行っている。その特徴は、対象地域の背景画像上でのネット構築といった、空間特性の反映化にある。しかし、ネット構築の精度の確保と汎用的構築法の課題が残されている。そこで、本研究では、プローブデータを活用した、プレースの配置とタイマー設定のシステム化を試み、ペトリネットシミュレータを活用した避難計画への情報利用について検討を行うとともに課題を整理する。

**キーワード**：避難計画支援、プローブデータ、プレースタイマ、避難シミュレータ

**Keywords**：Support for Refuge Plan, Probe data, Place-timer, Evacuation simulator

## 1. まえがき

著者らはペトリネット・シミュレータ<sup>1)~4)</sup>を用いた防災計画支援研究を行っている。その特徴は、対象地域の地図情報を背景画像として人の移動ネットを記述できるため、対象地域の空間特性を反映できる点にある。具体的には、ペトリネットシミュレータを用いて、市街地避難計画シナリオのシミュレーション構築<sup>5)~7)</sup>と、中山間地の救急・避難計画シナリオのシミュレーション構築<sup>8)~12)</sup>といった防災計画への応用研究を行っている。それらの基本形は、プレースとトランジションを用いた人や車の移動ネットの記述である。前述したように、対象地域の背景画像を用いることにより、人の移動ネット、あるいは、車両の移動ネットを容易に構築することができる。つぎに、配置したトランジションの発火時間(プレースタイマ)の設定を行うことにより、プレースに打たれたトークンの移動といった時系列的な移動ネットを構築することができる。防災情報としてシミュレーションを活用するためには、対象地域の基本ネットを構築した後、災害時の障害発生等、避難・救急を障害する要因を、シミュレータに組み込む必要がある。言い換えれば、災害時の空間変容に対応した計画と、それらの評価を視覚的に実行可能なシステムを構築することが、実効的な防災計画への情報支援に繋がると考えている。以下、市街地と中山間地への活用のポイントについて述べる。

市街地避難計画のシナリオシミュレーション構築のため

の基本ネットは、中山間の避難計画と、都市部の避難計画を考える場合、両者の大きな相違は、地形的制約や障害のタイプにある。例えば、プレースタイマを設定する場合、平地である市街地では、人の移動速度を一定と仮定できる。しかし、中山間地では、移動にかかる時間は、地形的制約である高度差や勾配の影響を大きく受ける。

著者らは、中山間地域の避難経路をプローブビークルならびに携帯GPSを利用した位置情報として採取することにより、経路の形態・勾配に応じた車・徒歩による移動時間情報を同時に入手・推定する方法を提案している。この経路情報を、対象地域の背景画像上で表示することにより、基本的なペトリネットのためのプレースとトランジションを配置し、個々のリンクの形態・勾配を考慮しながらネットの精緻化を行っている。しかし、これまでのデータの採取方法は、研究の適用を主目的としていたため、データ入力系利用技術が確立しているとは言えず、汎用性のあるシステムとはなっていない。

今後、徒歩ネットの追加や対象地域の拡大など、基本ネットを作成するための精度の確保と汎用的構築法の検討は、市街地の基本ネットの作成や、中山間の基本ネット、道路形態・勾配を考慮した精緻ネット、プレースタイマ情報の自動取得といった新たな情報の利活用に繋がるとともに、ペトリネットの適用可能性の拡大に寄与できると考えている。

本研究では、プレースの配置・タイマの設定に工夫のい

1：正会員 学博 愛媛大学 講師 総合情報メディアセンター

(〒790-8577 松山市文京町3, Tel :089-927-9837, E-mail : futagami@dpc.ehime-u.ac.jp)

2：正会員 工博 金沢大学大学院自然科学研究科 教授 工学部土木建設工学科

(〒790-8577 松山市文京町3, Tel :089-927-9837, E-mail : futagami@dpc.ehime-u.ac.jp)

る中山間地域を対象とした、救急・避難計画の基本ネット(人・車両)の構成法について、シミュレータ入力システムの改良とプローブデータを活用した適用事例の検討と課題を整理する。

## 2. 防災計画支援の基本部分ペトリネットの概要

### (1) 移動ネット

中山間の救急・避難計画を考え場合、地形的制約、あるいは、災害阻害により、避難手段が、徒歩・車両に限定される場合がある。さらに、負傷者等の救急については、中山間地の場合、対象地域から遠隔の消防署からの駆け付け搬送となる。即ち、人の移動部ネットと、車両の移動部ネットを構築する必要がある。

人の移動部ネットは、住宅・施設等の避難開始部のプレースから、道路等の移動部のプレース、分岐・合流部のプレース、そして、避難場所のプレースへ移動が基本となる。このとき、移動形態を考慮すると、自助による避難、共助による避難シナリオも考えられる。さらに、移動の阻害タイプも、制約型ネットあるいは切断型阻害ネットによるシナリオも考えられる。一方、車両移動部のネットについては、マクロ(単路部と交差点)・マイクロネット(車両長単位)のプレース配置を考慮できるとともに、上述した阻害タイプのネットも考えられる。

中山間地の場合、特に考慮しなければならない点は、前述したように、人・車両の移動速度が地形制約に影響を受けるため、プレースの設置法とタイマの精度の確保である。

### (2) 移動ネットの記述

ペトリネットの一番の特徴は、事象の推移に制約、規則を与えることによりネット上をトークンというシンボルが動き、時系列的、視覚的に表現することができる点にある。人間の避難行動をモデル化する時に、避難経路の制約や時間の経過による避難経路の変化など様々な要素を考えなければならないが、ペトリネットによるシミュレータの構築はこういった阻害要因を容易に加え、変更・修正を自由に加えながら様々な対策・評価が発見的にできるところに利点がある。

図-1は、ペトリネットを用いた避難モデルを表している。(A)は、プレースP0、P1とトランジションT0、そして、プレースP0には10秒のプレースタイマが設定されている。これらは、(B)に示すように、プレースタイマが10秒間消費されると、トランジションT0の発火が行われ、(C)に示すように、P1にトークンが移動する。図-1は、単純な事例であるが、家から避難路へ避難する現象あるいは、道路区間を移動する避難者の時間的行動を記述している。中山間地域では、移動手段別あるいは、地形制約に影響を

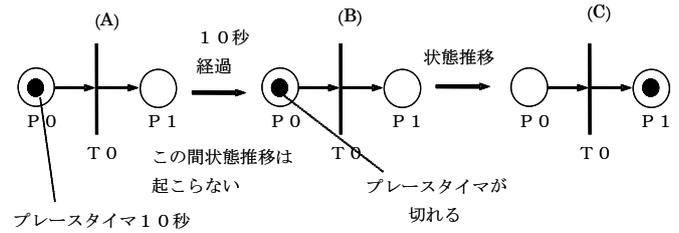


図-1 ペトリネットとプレースタイマ

受ける移動時間が避難を考える上での要因となるため、3Dのプローブデータを活用するための工夫が必要となる。

以下に、ペトリネットの特徴について述べる

#### a) 駆動系の独立性

ネットとは独立なシミュレーションの駆動系を持つため、シミュレーションを実行する際には、実行ファイルの中身は書き換えずに、ネットを開発するだけで、様々なシステムに対応できる。

#### b) ネットの構築性

現象システムを離散的に捉え、共通の構造、アルゴリズムを持っているので、システムネットを構築する際には、部分モデルを作成しておいて、それを結合する事により構築できる。すなわちパズルのように、部分モデルというピースを組み合わせることで全体を作成するというふうな、ネットの構築がわかりやすい特徴を持つ。

### (3) ペトリネットシミュレータの入出力構成

本シミュレータにおける入出力データの構成図を図-2に示す。本シミュレータの実行ファイルの名称はPetri.exeと言う。そしてこの実行ファイルにシステムデータである\*.Sdata(プレース・トランジションのトポロジー、プレースタイマ)、Vptimer.txt(可変タイマ)を入力する。つぎにPetri.exe(実行ファイル)で、視覚的出力ネットである\*.Ndata(プレース等の空間座標データ)、\*.Rdata(ラインを引くためのデータ)というものを作成する。この\*.Ndata、\*.Rdataから本シミュレータの特徴の1つである視覚性が得られる。最

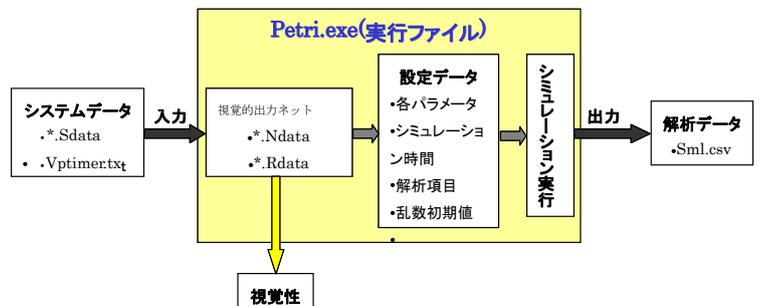


図-2 シミュレータの入出力系フロー

後に、シミュレーション実行の設定データとして、各パラメータ、シミュレーション時間、解析項目、乱数初期値を設定してシミュレーション実行すると、解析データとしてSml.csvが出力される。

**a) システムデータ**

\*.Sdata(txt形式)

ペトリネット理論を用いてモデル化されたネット図を、ペトリネットシミュレータに即した書式で書いたデータファイルである。各抑止状況、各プレースの設定、プレース・トランジションの入出力関係、発生プレースの設定など、シミュレーションを稼動させるうえで必要なデータを持つ。

Sdataの書式は、プレース、トランジション、トークンの初期配置、トークン発生プレース、カラー生成トランジションの5段階に分かれている。

**b) 視覚的出力ネットファイル**

\*.Ndata

実行ファイルによってプレース、トランジションを配置した位置を保存しておくファイルをあらわす。このファイルが本シミュレータの重要な視覚性をもたらす。

**3. プローブカーと携帯GPSによる経路データ収集システム**

従来のシステムでは、シミュレータの背景画像を用いて基本ネットを作成し、それらの精緻化についてはプローブ情報を用いてプレースタイムを算定している。そして、Sdataを作成しながら、配置したプレース間の移動時間を算定しプレースタイムを記述している。そのため、ペトリネットのネットサイズが増加すると、これらの入力データの作業が煩雑となり、必ずしも汎用的なシステムとはなっていない。そこで、本章では、プレースの配置とプレースタイムの入力系を整備し、ペトリネットシステムとの連携化を試みた。

具体的には、プローブデータをリンク毎にファイル保存する。つぎに、エクセル上にネットワークデータを表示する(緯度経度)、さらに3次元でネットワークを表示することにより、リンクの結合を確認する。つぎに、個々のリンクについて、道路形状・勾配を表示し、プレースを配置する。プレースを配置すると、自動的に、移動手段(上り・下り)に対応した移動時間(プレースタイム)が算定される。さらに、配置したプレースの緯度経度を、ペトリネット・シミュレータ系の座標にトポロジー変換することにより、自動的に、Ndataを作成できる。

構成した、入力データのシステムフローを図2に示す。図2より、システム入力系であるプローブデータを活用することにより、シミュレータの入力データとなる、Sdata, Ndataを効率的に作成することができる。この基本ネットに、周辺画像、ハザードマップ、住民データベースを参照することにより、様々な部分ネットの結合によるシナリオの設定が可能となる。

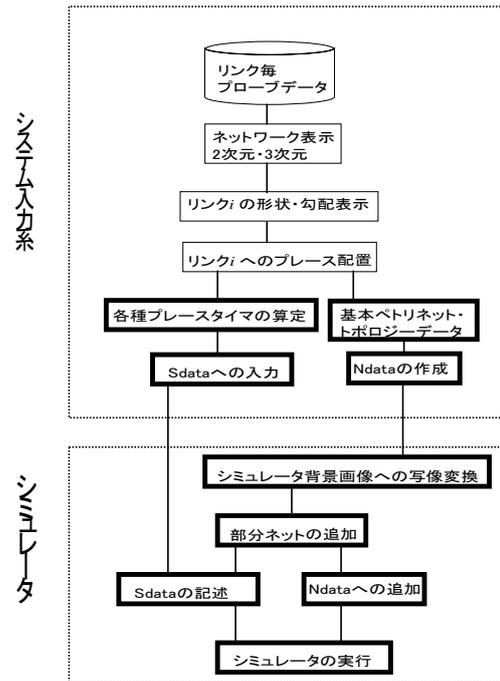


図-3 入力データのシステム化フロー

**4. 移動部ネット構成のシステム化と実行例**

図-4は、ExcelVBAを用いて構築した移動部ネット構成システムの適用事例である。図-4に示すように、個々のリンクの形状・勾配に着目し、プレースを配置し、移動手段別(歩行・車両)時間、歩行に関しては上り下り別時間(推定式による)が算定される。各種シナリオの設定は、システム入力系から作成された、基本ペトリネット図、各種プレースタイムを用いて、シミュレータ側で、障害や引き返しなどの部分ネットを逐次的に追加しながら、Sdataを作成する。Ndataについては、Sdataで新たに追加されたプレースを背景画面上に配置すればよい。図-5に、開発したシステムを用いて作成した基本ネットと、住民アンケートにより追加した徒歩ネット(画面下の囲い線の部分)を示す。

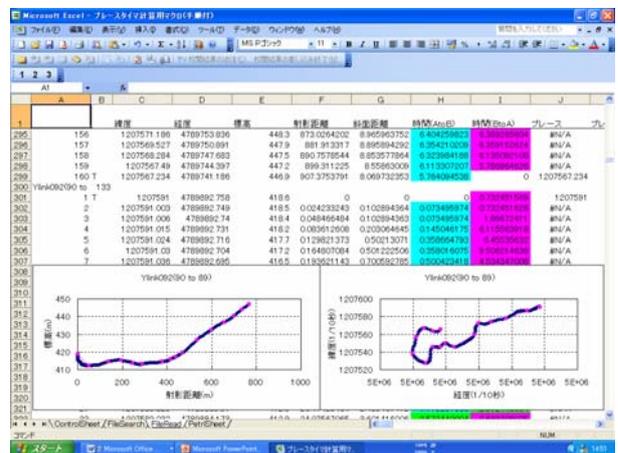
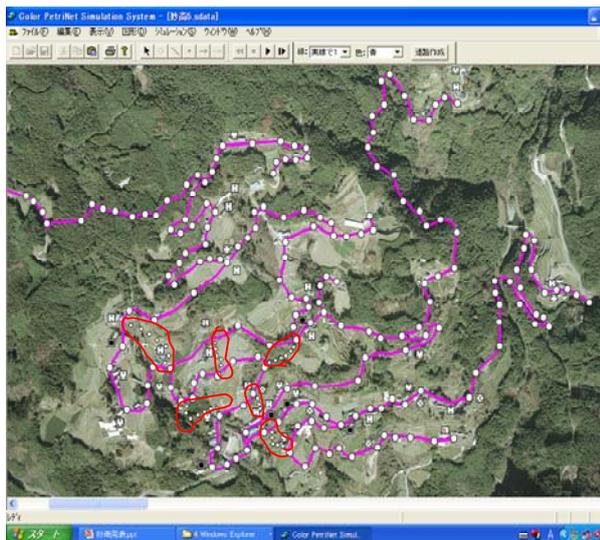


図-4 移動部分ネット構成システム適用事例



図ー5 徒歩移動ネットの追加事例

## 5. おわりに

本研究では、プローブデータを活用したペトリネット・シミュレータの入力システムの開発を行った。その結果、プローブを活用した（緯度経度・高度）データをリンク毎に整理することにより、開発したシステムで、道路形状・勾配に応じたプレースの配置と、ペトリネットの入力データであるプレースタイマを、移動手段別・上り下り別に算定できることを示した。さらに、従来、シミュレータ側で行っていた、プレースの配置（Ndata）を、システム入力系側の緯度経度の座標変換で行うことを提案した。これらの結果、システム入力系でシミュレータ側での操作・作業を大幅に軽減することを提示することができた。さらに、アンケートによる追加経路についても、開発したシステムを用いることにより、シミュレータ側のネットの追加が容易にできることを示すことができた。

以上より、本研究の成果をまとめると、対象地域を変更しても、背景となる航空写真とプローブ情報を入手すれば、汎用的に、シミュレーションのための基礎情報を提供できることを示すことができた。

今後の課題としては、走行・徒歩の実データと推定データの精度の比較と適用範囲の明確化によるプレースタイマ精度の確保が上げられる。つぎに、ペトリネット・シミュレータ側の、Sdata のファイルを介しての移動部ネット・障害ネット構築の自動化を行いたいと考えている。

**謝辞：** 研究を進める上で、現地について種々のアドバイスを頂いた愛媛県久万高原町総務課高橋課長、柳谷支所建設課山本係長ならびに、アンケートに協力していただいた、柳谷中津旭地区、窪田地区、西村地区、中田地区の皆様にご心より感謝の意を表します。

## <参考文献>

- 1) 木俣昇、鷲見育男：消防防災システムの障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・論文集、No. 14、pp. 393-400、1997年9月。
- 2) 木俣昇、松井竜太郎：背景画像上でのバス交通計画のペトリネットシミュレーション技術、土木情報利用技術論文集、Vol. 12、pp. 207-216、2003年10月。
- 3) 木俣昇、中村彰彦：交通流ペトリネットシミュレータにおける背景画像上でのデータベース化に関する研究、土木計画学・論文集、Vol. 21 no. 1、pp. 51-62、2004年9月。
- 4) 堀浩三、木俣昇：背景画像上での地震時緊急車両走行のペトリネットシミュレーション開発、土木計画学研究・講演集、Vol. 30、CD-ROM、2004年11月。
- 5) ペトリネットによる背景画像上での建物内避難シナリオのシミュレーション研究、土木計画学研究・講演集、Vol. 30、CD-ROM、2004年11月。
- 6) 上埜一樹、堀浩三、木俣昇：ペトリネットシミュレータによる背景画像上での救急車両の走行性考察、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、IV-61、pp. 419-420、2005年3月。
- 7) 高野龍一、曾根岳志、木俣昇：ペトリネットによる背景画像上での地震時避難シナリオのシミュレーション法、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、IV-60、pp. 419-420、2005年3月。
- 8) 二神透、木俣昇：中山間地域の救急・避難計画支援のためのシナリオシミュレーションの開発、土木計画学研究・講演集、Vol. 30、CD-ROM、2004年11月。
- 9) 二神透、木俣昇：中山間地域の救急・避難計画支援のための情報システム開発、土木情報利用技術講演集、Vol. 29、pp. 29-32、2004年10月。
- 10) 二神透、木俣昇、末廣文一、寺田一雄：ペトリネットシミュレータを用いた中山間地域の避難計画支援に関する研究、土木計画学研究・講演集、No.32、(213)、4p、2005年12月。
- 11) 二神透、木俣昇：背景画像上での避難ペトリネットシミュレーションへのプローブ技術の活用化研究、土木情報利用技術論文集、No.13、pp.33-40、2005年10月。
- 12) 二神透、寺田一雄：ペトリネットシナリオシミュレータを用いた中山間防災計画に関する研究、土木学会四国支部第12回技術研究発表会講演概要集、pp.296-297、2006年5月。