

ペトリネット・シミュレーションデータのシステム化による避難計画への適用研究*

Application study to the refuge plan by systematization of Petri-net simulation data*

二神 透**・木俣 昇***

By Tohru FUTAGAMI**・Noboru KIMAT ***

1. はじめに

近年、局所的豪雨災害に伴う河川の氾濫・土砂災害によって多くの犠牲者が発生している。さらに、2004年10月23日に発生した中越地震では、地震発生空白地域の見直しや、中山間地域の防災計画の必要性が始めて認識された。以上のように、近年発生した災害の特徴は、気候変動による豪雨発生の集中化や想定外の地域で発生する地震といった災害発生予測の困難性、そして、高齢化社会を迎え、高齢化世帯、独居世帯の増加に伴う避難困難性が挙げられよう。国は、2005年に避難勧告、避難指示の前段階で避難準備情報を新たに定めた。この防災システムは、災害が発生する前に、いわゆる災害弱者を早めに避難させるために自治体が発令するものである。

阪神淡路大震災以降の防災計画の流れを振り返れば、従来ハードで対応してきた防災計画では対応できないことが明らかとなり、公助・共助・自助の連携のもと、災害弱者に視点を置いた避難計画へシフトしているように思われる。しかし、従来、各自治体は、都市計画において、防災的視点の開発規制をほとんど行っておらず、災害リスクの高い土地への開発が災害拡大の一要因となっていることも否めない¹⁾。そして、都市部では、今後の人口の減少化を前提とした災害危険地域からの住み替えの議論も行われている²⁾。しかし、中山間地域についての議論は行われていない。なぜなら、中山間地域の公共サービスの水準そのものが低く、防災的公共サービスを含めた経済的投資効果の低さが根底にはある。

著者らは、中山間地域を対象として、災害から生命を守るための避難計画の研究を行っている^{3) 4)}。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、地形的制約や阻害のタイプにある。一般

*キーワード：情報システム、避難シミュレータ、防災計画論

**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、

TEL089-927-9837、089-927-9837)

***正員、工博、金沢大学大学院自然科学研究科

(金沢市角間町、

TEL076-234-4914、FAX076-234-4915)

的に、中山間地では、住宅から避難場所への経路が、車で移動可能な経路、徒歩に限定される経路とに分かれる。さらに災害阻害の程度によれば、車の移動を諦め、徒歩へと移動手段が変わる場合や、移動手段の無い高齢者を迎えに出向く、互助型避難の形態も想定される。移動にかかる時間は、車や徒歩の速度で算定できるが、中山間地の場合、地形的制約である高度差による勾配の影響を大きく受けると考えられる。

本研究では、中山間地域の個々人に対応した避難計画に着眼し、プローブビークルならびに携帯GPSを利用したプローブ情報を用いた、背景画像上で避難ペトリネットシミュレーションを開発することにより、災害シナリオの作成、阻害シナリオの追加・解除といった、空間変容対応型のシステムの提案を目的とする。既存研究では、中山間地域における避難計画について、ペトリネットシミュレーションの適用可能性について述べられている。しかし基礎的研究、適用例であり、利用技術が確立しているとは言えず、汎用性のあるものとはなっていない。本研究の既存研究との大きな違いは、道路勾配・道路形状によるペトリネットの精緻化を行うことでの視覚性の改善、プローブデータからブレースタイマを取得するためのペトリネットデータの入力支援、さらには対象地域で実施したアンケート結果のシミュレータへの反映である。

2. ペトリネット避難シミュレータ

ペトリネットとは1962年にドイツ人のC. A. Petriによって提唱された概念である。ペトリネットの概念自体は単純なものであるため、その適用範囲は幅広い。具体的な説明は紙面の制約上割愛するが、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ことにある。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ぬが、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

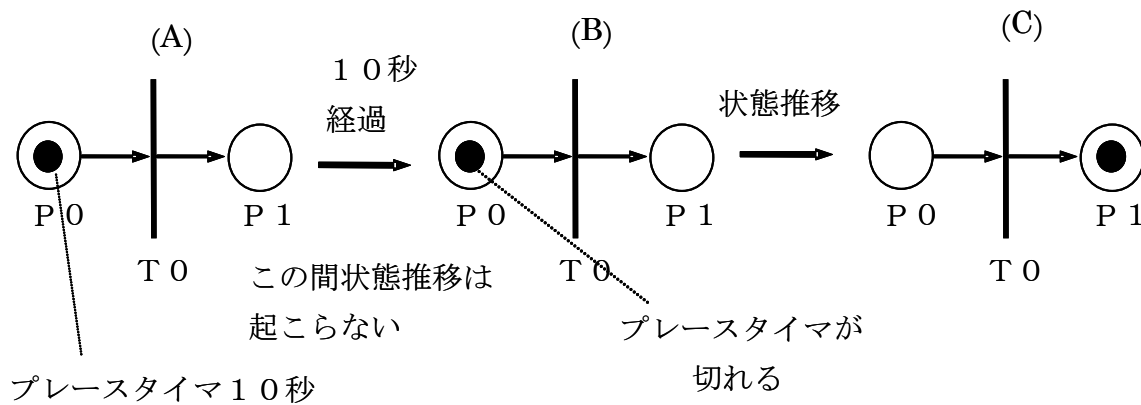


図1 ペトリネットとプレースタイマ

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T0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、地形制約に影響を受ける移動時間が避難を考える上での要因となる。これらは、図1に示すプレースタイマとして外生的に与える。従来、著者らは、プローブデータあるいは、GPS携帯を用いた3次元情報を用いてペトリネットを構成した後にプレース間に対応した移動時間を個々に算定して与えていた。しかし、ネットが精緻化するとともに、その作業時間が指数的に増加するため、必ずしも汎用的なシステムとはなっていない。そこで、本研究では、プレースタイマの入力系を整備し、ペトリネットシステムとの連携化を試みた。具体的には、対象地域の背景画に道路ネットを表示し、個々の道路の線形・勾配等の情報も合わせて表示することにより、ネットの精緻化と移動手段（上り・下り）に対応した移動時間（プレースタイマ）を自動的に算定できるように改良を行った。

構成した、シミュレーション・フローを図2に示す。図2より、対象地域の航空写真・プローブデータを活用することにより、ペトリネットの基本ネットの作成を支援するネット構築・プレースタイマの生成システムの開発を行った。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。開発したシステムについては、次節で概説する。

このペトリネットと背景画像を用いる利点は、視覚的かつリアリティーを有した形でペトリネットの構築が

可能となることと、構築した計画の評価・批判を即時的に実行可能な点にある。さらに、背景画像と、周辺画像を参照することにより、災害時の交通・避難に関する阻

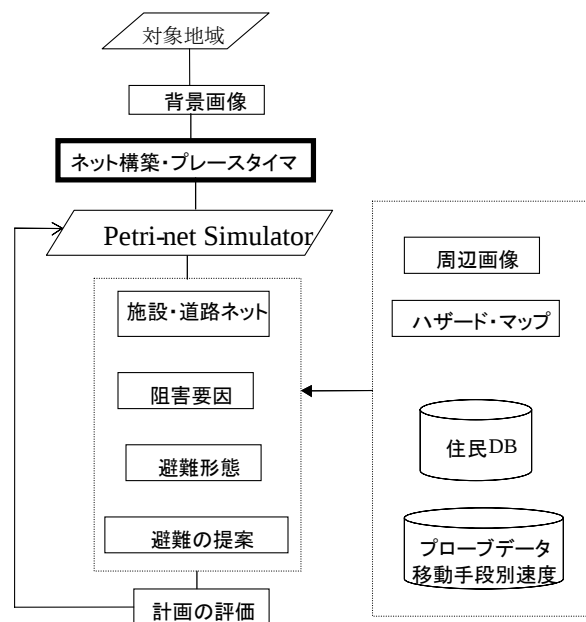


図2 システムの基本フロー

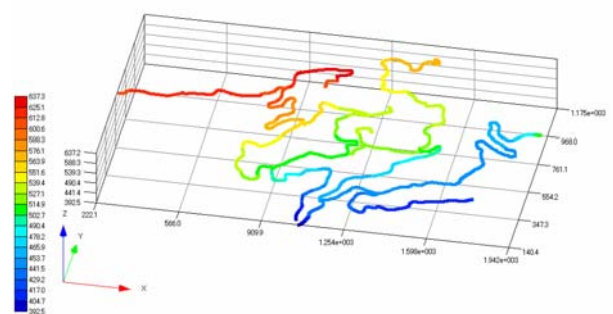


図3 愛媛県久万高原町柳谷プローブデータ

害要因の発見といった、課題対応型の計画支援が可能となる点にある。

3. 避難路情報の入力支援システム開発

3.1 避難経路図データの策定システム

著者らは、中山間地域の避難計画を策定するための基礎データとして、プローブビークルを用いて道路ネットワーク・移動時間を採取している。徒歩専用道路については、携帯GPSを用いてネットワークデータ・移動時間を採取している。図3にプローブデータで採取した愛媛県久万高原長柳谷中津地区の道路ネットワークを示す。この図より、道路ネットワークが、東西1、700m、南北1、000m、標高390mから630mと240mの高度差を持つことが分かる。換言すれば、中山間地域では、この地形的特性を避難計画に反映することが重要であることがわかる。

3.2 避難経路図データの策定システム

前節において、プローブデータ・携帯GPSを用いた道路ネットワークの策定について説明を行った。この基本ネットに、住宅の位置や世帯人数、避難経路を記述するためには、経路と施設のトポロジーや、住民の初期位置が必要となる。プローブデータは、自動車や携帯GPSを用いて民家の庭先あるいは軒先まで計測しているため、これらのデータを用いれば、基本的な施設・避難経路のネットワークが作成可能である。移動手段が車の場合、プローブデータの1秒毎の移動時間から容易に任意の2点間の時間が求まる。しかし、歩行時間については、歩行専用道路の携帯GPSはあるが、その他の区間については、データを収集していない。そこで、著者らの道路勾配をパラメータとする経験式を用いて、歩行（上り、下り）の移動時間を算定している。この点についても、ネットワークの区間（ペトリネットにおけるプレースの位置と区間）が与えれば、自動的に車による移動時間、徒歩上り下り移動時間が算定できるように、入力データのシステム化を図る必要がある。そのためには、道路の形状や勾配を考慮して、システムティックにプレースを配置する入力系の整備を行う必要がある。

図4に、開発したペトリネット入力系システムフローを示す。プローブ情報の緯度・経度・高度情報を抽出し、図化することにより、施設・交差点を抽出し、これらをノードとするリンクを全て抽出する。つぎに、図4に示すように、個々のリンクの勾配情報・道路形態情報を図化し、道路の形状・勾配を視察しながらプレースを配置する。任意のリンクにおける作業が終了すると、ペトリネットに必要な、車の移動時間、上り下りの徒歩時間といったプレースタイマが自動的に生成される。そし

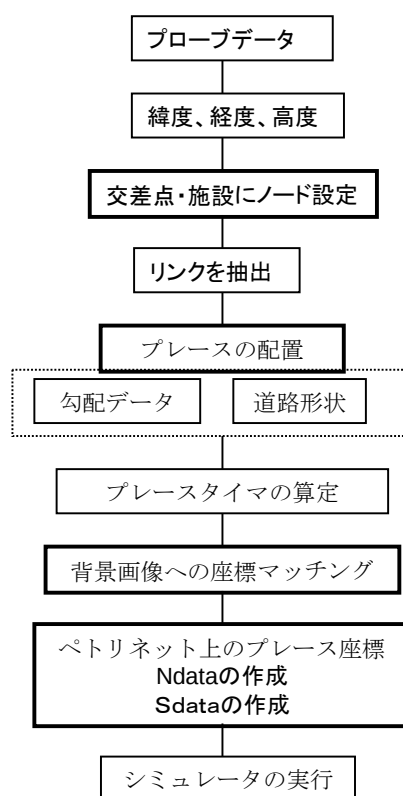


図4 ペトリネット入力系システムフロー

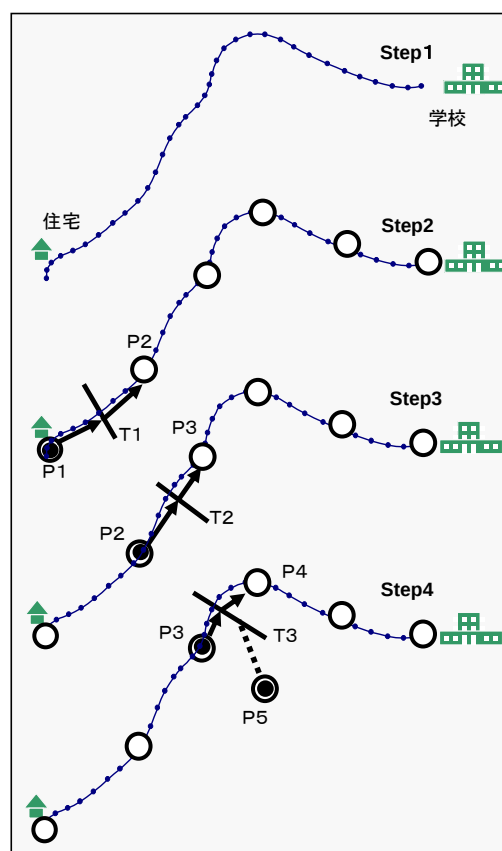


図5 道路形状・勾配を考慮したプレースの配置

て、ペトリネットで使用する背景地図座標と緯度経度の返還行えば、シミュレータ上のプレース位置情報を記述した、Ndataが作成される。このとき、トランジションの座標も必要になるが、プレースの中心を与えれば、基本的なペトリネットの空間は位置情報であるNdataが自動的に作成される。このとき、プレース、トランジションの事象の記述を、Sdataで記述する。例えば、合流や、分岐選択、駆けつけなどの部分ネットを結合することになる。全てのリンクデータにプレースを配置した後、背景画像座標への画像マッチングを行うと、車両、徒歩（上り下り）のプレースタイムが自動的に策定される。そして、ペトリネットに必要なSdata、Ndataを同時に作成すると、シミュレータ用実行形式ファイルが作成できる。

図5は、住宅から避難場所へ向かう経路について、ペトリネットで記述する手順を示している。図中、道路の線形区間・勾配に着目しながらにプレース・トランジションを配置し、ペトリネットの基本ネットを順次構築する。図5は、開発したシステムを用いて、実際の道路区間にプレースを配置している。はじめに、図6の右側が道路の線形状態を表し、左側は勾配を表している。マウスで、プレースを配置すると、移動手段別（上り・下り）の移動時間が自動計算され、ペトリネットのためのプレースタイムのテーブルが作成される。

4. おわりに

本研究では、中山間の避難計画を支援するために、プローブデータからシミュレーション用のネット・プレースタイムを生成するためのシステムの開発を行った。具体的には、プローブ・GPS携帯による3次元座標のデータを、道路の線形・勾配に着目しながらペトリネット・データを作成し、移動にかかる移動手段別時間（プレースタイム）を、自動的に算定するためのシステム開発を行った。この結果、プローブデータと航空写真があれば、汎用的にシミュレータの基本ネットが作成できることを提示できた。その結果、住民アンケートで新たな経路が明らかになった場合も、容易にネットの追加ができる点も示すことができた。

今後、災害を想定した上で要援護者支援ネットや、引き返し、選択ネットの部分ネットを追加し、図7に示す地域を対象とした避難計画の提案と実行・批判を受け入れた合意形成プロセスに基づく避難計画案の策定とペトリネット・シミュレータの有効性・課題を明らかにしたいと考えている。

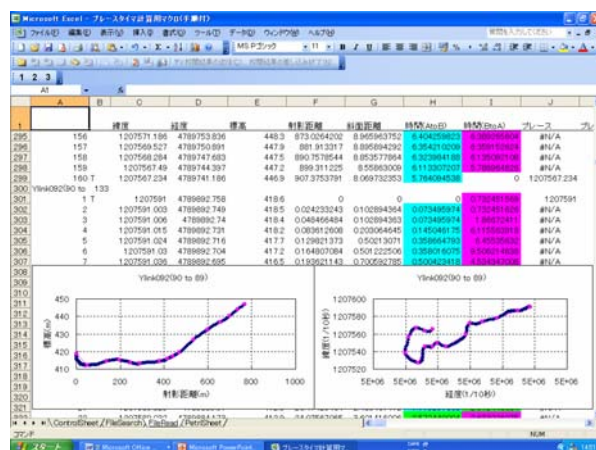


図6 ペトリネットのためのプレース配置とタイマの算定

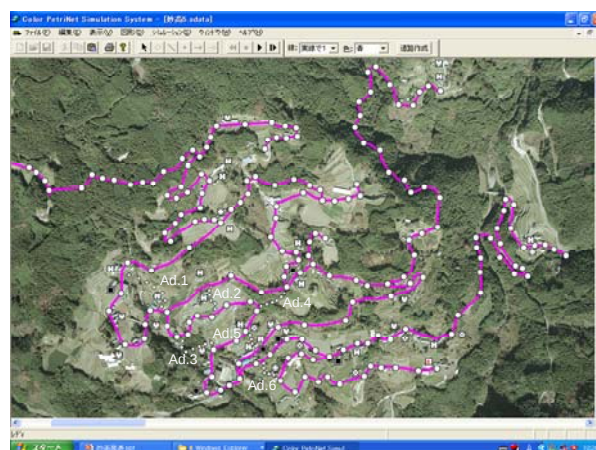


図7 背景画像を援用した避難経路ネットの作成

＜参考文献＞

- 1) 増田聡、村山良：地方自治体における防災対策と都市計画—防災型土地利用規制に向けて—、110 (6)、pp. 980–990、2001。
- 2) 国土交通省まんなかビジョン：第2章 将来像の実現に向けた圏域整備のあり方（戦略的社会資本整備のあり方）、<http://www.cbr.mlit.go.jp/manaka/kondankai/pdf/teigen/0201.pdf>
- 3) 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ー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。
- 4) 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。