

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*

Study on the refuge planning in the intermediate and mountainous area supported by Petri-net simulator *

二神 透**・木俣 昇***・末廣文一****・寺田一雄*****

By Tohru FUTAGAMI**・Noboru KIMATA***・Fumikazu SUEHIRO****・Kazuo TERADA*****

1. はじめに

昨年度、相次いだ台風や集中豪雨、さらに新潟中越地震による人的被害についての共通課題は、災害弱者の避難の問題であろう。先般、国は、高齢者や障害者といった要援護者の避難を考慮した、「避難準備情報」を新たに創設した。この目的は、避難に時間がかかる要援護者への準備を促し、要援護者が的確に、避難勧告、避難指示へ対応できるよう配慮したことにある。

著者らは、都市部と中山間地域の避難・救急の問題点を整理し、中山間地域では、都市部と比べて高齢化が進み、独居世帯率も高く、避難のための移動経路・移動手段が、地形条件等に制約されるため、個人レベルの肌理細やかな避難計画の策定が必要であることを提示している。具体的には、各種プローブ情報を用いた移動手段別の移動速度の算定となる情報を整理し、つぎに、個人ベースに着目したとき、要援護者を誰が避難させるのかといった、移動形態や互助型の避難形態を提案している。適用事例では、地震時に対象地域の橋梁が落下した場合、一部の集落住民が引き返しを伴う避難を強いられることによる避難完了時間の遅れを、ペトリネット・モデルを用いて記述している。このモデルより、各世帯が時間軸上で動的に避難場所に移動する様子を把握することができることを示している。しかし、災害事象の生起、事象の連鎖、阻害事象の発生といった、一連の防災ペトリネットの基礎的な適用に限られている。そこで、本稿では、震度別、降雨量別、災害レベル別の避難シナリオを想定し、それぞれのシナリオで考慮すべき問題点と解決について、

*キーワードズ：中山間避難、土砂災害、計画情報、シナリオ・シミュレーション、ペトリネット

**正員、学博、愛媛大学総合情報メディアセンター

(愛媛県松山市文京町3、

TEL089-927-9837、FAX089-927-9837)

***正員、工博、金沢大学大学院自然科学研究科

土木建設工学科

****学生員 愛媛大学工学部環境建設工学科

***** 学生員 愛媛大学工学部環境建設工学科

即時実効性の高いペトリネットによる防災計の提示可能性と課題を整理する。

2. ハザードマップによる想定シナリオ

(1) 災害シナリオの想定について

一般的に中山間地域は、広大な地域に集落単位で人口が分散している。道路形状は、幹線道路から集落へ枝上に分布し、自動車が進入できない細街路が多数存在する。都市部の道路形状と大きく異なる点は、山間地のため道路勾配による移動への影響を受けることにある。一方、避難施設・救援施設は限定的かつ地形的制約を受けるため、都市部における避難・救援とは状況が大きく異なる。つぎに、中山間地域の災害特性に着目すると、前述したように、豪雨・地震による土砂災害が対象となる。

土砂災害とは、

1) 土石流危険渓流

2) 地すべり危険箇所

3) 急傾斜地崩壊危険箇所

に分類され、愛媛県では、1) 5,877箇所、2) 506箇所、3) 8,807箇所、合計15,190箇所が指定されている。しかし、これらの箇所は、現在までの調査によって把握された箇所であり、必ずしもそれら以外の箇所が安全であるとは限らない。また、土砂災害を引き起こす災害の外的圧力も種々あり、災害の様相も異なる。例えば、豪雨時には、すべての種類の土砂災害のリスクが高いといえよう。一方、地震時には、2)、3)のリスク発生の可能性が高いといえよう。これらのリスクによる被害の様相は、豪雨の程度や、地震動の強さによっても当然異なってくる。もちろん、最悪のシナリオとして、豪雨時・地震といった状況も想定されよう。次節では、まず、防災マップの情報をもとに災害想定シナリオを考え、それぞれのシナリオにおける避難・救急の課題を、孤立、寸断、阻害、避難者の属性・避難場所・移動手段別の観点より整理したいと考えている。

(2) 基本ネットとハザード情報

図-1は、本稿で対象とする、愛媛県久万高原町

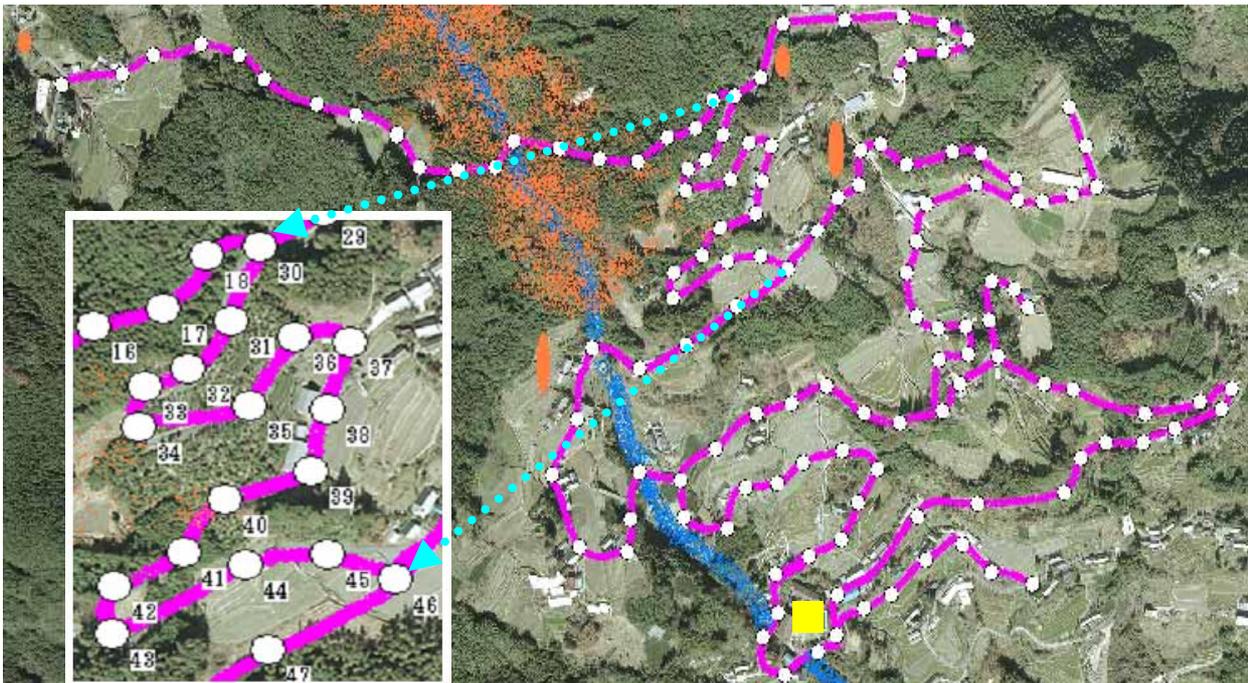


図 - 1 ペトリネットによる道路ネットの表示とハザード

柳谷村中津地区を表している。ピンクの線は、この地域の道路網を現している。線上の白い点は、後述するペトリネットのプレースを表している。具体的には、図 - 1のネットワークは、ペトリネットの道路プレースのみを現している。実際は、これらの道路ネットワークに、世帯の生成プレースも配置している。ペトリネットで記述しているネットワークは、各世帯から避難者が、これらの経路を移動しながら、図 - 1の画面下の、黄色い四角で記述している小学校へ避難することを基本的に考えている。このとき、車による移動、徒歩による移動といった移動手段別の時間が重要となる。そこで、プローブデータ並びに歩行速度実験によって得られた実験式を用いて、移動手段別・登り・下り別のプレース間の移動時間をプレースタイマーとして設定している。表 - 1は、図 - 1の左部分の拡大図部分の、プレース間の移動手段別時間を表している。この表より、プレース30から、46までの距離が713.1m、車で1分半であるが、徒歩では約8分強もかかることが分かる。また、登り下りの時間差は少なく、この区間の勾配が緩やかであることが数値的に理解できよう。

つぎに、この地域のハザードマップについて説明する。この地域は、地区全体が地すべり危険地域に指定されている。図 - 1の、4箇所の色茶い点が急傾斜地危険箇所である。そして、図面左上から右下に、溪流が流れており、上流部の茶色の部分が、土石流危険溪流に指定されている。これらのハザード情報を用いて、適用事例で、豪雨（降雨量別）、地震時（震度別）の

表 - 1 プレースタイマーの設定

プレース番号	距離(m)	プレースタイマー(sec)			
		車	徒歩 下り	徒歩 登り	
30-31	32.7	4.0	23.4		23.7
31-32	62.5	7.0	44.6		45.1
32-33	25.6	3.0	18.3		18.5
33-34	29.1	6.0	20.8		21.4
34-35	31.0	4.0	22.2		22.4
35-36	58.8	7.0	42.0		42.3
36-37	35.1	5.0	25.1		25.3
37-38	35.0	5.0	25.0		25.3
38-39	51.3	6.0	36.7		36.9
39-40	65.7	8.0	46.9		47.2
40-41	31.7	4.0	22.7		22.9
41-42	48.5	6.0	34.7		35.0
42-43	33.3	6.0	23.8		24.1
43-44	100.0	11.0	71.7		72.2
44-45	53.4	6.0	38.1		38.4
45-46	19.4	3.0	13.9		14.1
合計	713.1	91.0	509.9		514.8

災害シナリオを想定し、ペトリネットによる避難計画を考える上での問題点、課題を整理する。

3. ペトリネットによる部分ネットの構築

中山間の避難シナリオを考える場合、開始、移動、分岐、合流、互助、引返し、阻害といった部分ネットを考える必要がある。中山間地域の避難シナリオとは、これらの部分ネットの結合により構成され、ペトリネットの結合化は、シナリオの拡大化、精緻化を担保し、この特徴が、ペトリネットシナリオによる課題解決型の支援システムとしての実効性・有効性を保証している。ここで、基本となる部分ネットについて述べる。

図 - 2、3は、避難開始ネットと歩行移動ネットを表している。右のトークンで示される避難者は、避難情報を入力条件として、移動を開始することになる。このときの、空間事象の時間移動は、右図のプレースタイムを与えることにより、プレースタイムが消費され、トランジションの発火に伴い、出力状態へトークンが移動することによって記述される。避難情報についても、部分ネットを構築することにより、事象を精緻化できる。図 - 4は、高齢化が進む中山間地域に見られる、な独居老人世帯の歩行困難避難者を、車で駆けつけて互助的に避難する互助ネットを表している。

以上のように、避難者をトークンで記述し、空間移動をプレースとトランスの入出力条件で記述することにより、トークン（避難者）の移動を記述できることがわかる。

4. 災害シナリオの想定と避難に与える影響

図 - 1のハザードマップを基に、豪雨時・地震時を想定し、それぞれの外的圧力の大きさを2つのレベルに分け、避難に与える影響を、表 - 2に整理した。この中で、最も避難に影響を与えるシナリオは、豪雨（大規模）時で、図 - 1の左上の土石流が発生し、右下避難場所である小学校まで土砂が流れ落ちた場合を想定している。この場合、図 - 5に示すように、避難場所の小学校が土砂の影響を受けるため避難場所として使用できないことや、道路網が切断され、孤立する集落が発生することがわかる。その結果、集会所への避難や、避難すること自体が危険な状態、早めの自主避難の必要など、様々な対応が必要になることが分かる。

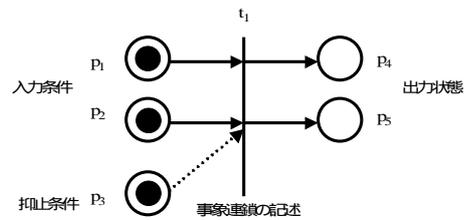


図 - 2 ペトリネットの基本事象と状態推移

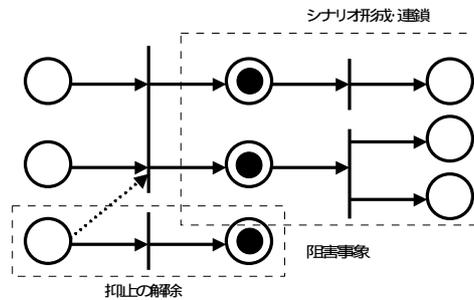


図 - 3 シナリオによる事象の連鎖と障害事象ネット

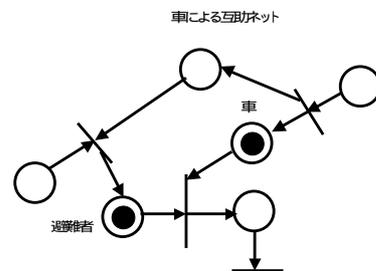


図 - 4 避難準備情報への対応（要援護者へのかけつけ）

図 - 5には、ペトリネットで構築した道路と、世帯のプレースが表記されている。黒丸の与えられている

表 - 2 災害シナリオ

シナリオ	想定災害	切断プレース	避難に与える影響
豪雨 (小規模)	急傾斜地 崩壊	89-90	この経路が通行不可能になった時、この経路を最短とする住民は引き返し、プレース86～46～57を通る経路で避難場所である小学校に向かう。
豪雨 (大規模)	土石流危険 渓流での 土砂災害	49-50,56-57 69-70,71-72	これらの経路が断たれると、避難場所である小学校へ通じる経路が無くなってしまいますので、近くの集会所等に避難する事となる。また、完全に孤立する箇所も出てくるので、避難に備えて待機する必要がある。
地震 (小規模)	橋の破壊	49-50	西村橋が通行不可能となった時、この経路を最短とする住民は引き返し、プレース86～96～57を通る経路で避難場所である小学校に向かう。
地震 (大規模)	急傾斜地 崩壊及び 橋の破壊	49-50,75-76 89-90	これらの経路が断たれ、さらに西村橋が崩壊した時、多くの世帯が避難所への経路を断たれる。その住民達は、近くの公園や空き地に避難する。



図 - 5 豪雨時(大規模)

ブレースが世帯を表している。この図より、左の孤立した集落は、4世帯、10人の住民である。住民データベースを参照すると、この中には、独居世帯は含まれていない。しかし、10人中、7人が65歳以上の要援護者である。その中で、要援護者のみで構成されている世帯が2世帯ある。画面右側の住民は、土石流で使用できない避難場所の変更を強いられることになる。いずれにしても、これらの地域の住民が安全に避難するためには、早期の避難準備情報の発令と、避難勧告、避難指示といった早めの避難行動が求められることになる。

5. おわりに

本稿では、豪雨・地震といった外的圧力の違いを4つのレベルに分け、土砂災害のハザード情報を用いることにより、4つの災害シナリオを想定した。これらのシナリオをペトリネットモデルの部分モデルを構築することにより、要援護者の避難援助モデルや、土砂災害による避難阻害モデルといった、連鎖的なネットを構築できることを示した。今後、避難に最も影響を与える豪雨時大規模災害に着目し、地質と土砂災害のネットモデル化、避難準備情報と避難のタイミング等について、ペトリネットシミュレータを用いて、互助型避難形態、避難場所の指定、避難にかかる時間についての詳細な分析・問題等について明らかにしたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 木俣昇、鷲見育男：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・論文集、No.14, pp.393-400, 1997年9月。
- 2) 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。
- 3) 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。
- 4) 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、-60, pp.419-420, 2005年3月。
- 5) 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。
- 6) 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。
- 7) 二神透、柏谷増男、中川周郎、三谷卓摩：プローブビークルを用いた中山間地域の道路ネットワーク作成に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol.28, 2003年11月。
- 8) 愛媛県久万高原町柳谷支所建設課提供 12) 愛媛県土木部砂防課提供 13) 愛媛県土木部土砂災害危険所マップ、<http://www.pref.ehime.jp/doboku/doboku2/kabetu/sabo/dmap/> 14) 日本火災学会編：火災便覧、共立出版、1997。