

- 26 避難計画シナリオへの住民参画化のための携帯GPS活用システムの研究

Study on an Available System by the Portable GPS for the Formation of Residents Participation to a Refuge Planning Scenario

二神 透・木俣 昇

By Tohru FUTAGAMI・Noboru KIMATA

抄録：著者らは、減災の柱となる避難計画への住民の参画化を支援するために、背景画像上でのペトリネット構築による視覚型避難シナリオシミュレーション法を開発してきた。本研究では、住民のより直接的参画化を目的に、住民の行動データを携帯GPSで取得し、それを背景画像上でのペトリネット構築に直結させる情報利用技術の開発について報告している。具体的には、ネットを構成するプレースとトランジションの視覚表示座標のデータファイルであるNdataファイルを携帯GPSデータより直接構築し、それから避難の基本部分ネットのシステムデータファイルであるSdataファイルを自動生成することで、背景画像上での避難シナリオの基本ペトリネットが提示できることを示し、中山間地での避難計画を事例にその住民参画化への利用例を示している。

Abstract: We have developed a visual simulation system based on construction of scenario Petri-net with regional map in the background to support resident participation for refuge planning. In this study, we propose to use portable GPS and construct basic part of refuse scenario Petri-net directly based on GPS data of resident's behavior in order to support more direct participation. For this task, we develop a procedure system to generate a file called as Petri-Ndata based on GPS data of resident's behavior and to convert the file into the Sdata file and demonstrate this procedure system for refuse planning in an intermediate-mountainous area.

キーワード：住民参加支援、避難計画、シナリオ・シミュレータ、ペトリネット、GPS データ
Keywords : Resident's participation support, Refuge planning, Scenario simulation, Petri-net, Portable GPS measurement data

1. まえがき

平成 18 年の中央防災会議「総合防災訓練大綱」¹⁾²⁾によれば、防災訓練の目的を、防災組織体制の機能確認、実効性の検証、国民の防災意識の高揚と知識の向上、防災担当者の研鑽・啓発と定めている。さらに、防災訓練実施に当たっての基本方針として、実践的、効果的な訓練の推進と訓練の評価、国の積極的訓練支援等、災害被害を軽減する国民運動に寄与する防災訓練の工夫を挙げている。すなわち、防災訓練の目的である減災に繋がる訓練の必要性を明示的に述べている。そのためには、大綱にあるように公助の支援のもと、主役である住民が自助・互助といった協働の役割分担を明確化することが前提となろう。つぎに、防災訓練の工夫であるが、災害を具体的にイメージし、的確に行動できる工夫が必要となる。それらツールとして、いくつかの避難シミュレータが開発されている³⁾⁻⁶⁾。それら

は、アウトプットに視覚性を与える点において、上記要望に応えることを目的としている。しかし、大綱にある、住民が主役となる防災訓練の支援を目的としたものではない。

著者らは、背景画像上で視覚性を備え、住民参画化の支援を目的とした、シナリオ・シミュレータの開発を行っている⁷⁾⁻¹²⁾。具体的には、ペトリネットを用いた図解形手法であり、記述原理が単純・明快であるため、提案した計画が住民への理解性を備えている点が特徴である。このことは、住民の意見や提案の反映性に繋がるとともに、背景画像上での視覚性のもとでの計画の拡張・修正の容易性を備えたシステムであるといえよう。参画化を 3 つのレベルで論じると、現状では、レベル 1 として、上述したシステムの理解性は、住民の意見や提案を十分に引き出せることを実証している。レベル 2 として、計画に対する住民の意見や提案を、シミュレータへ即時反映・検討といったフィー

1 : 正会員 学博 愛媛大学 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 土木建設工学科
 (〒920-1192 金沢市角間町, Tel :0762-34-4914, E-mail : kimata@t.kanazawa-u.ac.jp)

ドバックについても実証済みである。

本研究では、レベル3の参画化性として、住民の避難行為のシナリオ・シミュレーションへの直接的組み込みの付与を行いたいと考えている。そのために、携帯GPSによる移動部シナリオ・ペトリネットの構成技術による実現化提案を行うことを、本論文の目的としている。

2. 背景画像上での防災計画シナリオのペトリネット・シミュレーションの概要

(1) ペトリネットの基本原則

図1-1に、避難シナリオの基本概念構成を示す。この図は、住宅にいる住民が、避難情報（準備・勧告・指示）を受けて、避難を開始し、避難経路を通って目的地の避難場所へ移動する状況を表わしている。図下から上の移動経路への矢印は、阻害災害であり、崖崩れや、斜面崩壊による道路の通行阻害を表わしている。

図1-2は、図1-1の避難シナリオの基本概念構成をペトリネットで記述した事例である。ペトリネットでは、図中に○あるいは□で示されているものがプレース群、|がトランジション群で、それらの間の→と…がアークで、前者は入出力関係を、後者は抑止関係を示す。次にプレース上に●で示されているのがトークンで、対象系の現状態を指示する。このトークンの駆動原理を担うのが以下に示すトランジションの発火則である。

- 1) 全ての入力プレースにトークンがマーキングされていて、かつ全ての抑止プレースにトークンが存在しないとき、当該トランジションは発火し
- 2) その入力プレース群からトークンが1個ずつ消され出力プレース群にトークンが1個ずつ配置されるというものである。

図1-2の、ペトリネットによる避難シナリオの記述例では、プレースP0(以下P0と記述する)が、住宅を表わしており、P1に打たれたトークンは、避難開始の情報を表わしている。P0に打たれたトークンは、避難する住民の数を表わしており、この図では、P0に一人の住民が避難対象となっている。図1-2より、現状では、P0, P1にトークンが打たれているため、上述した発火則によりT0が発火し、P2にトークンが移動する。これ以降の、トランジションT1, T2の発火は、P2, P3に与えるプレースタイマ、PT2, PT3が消費されると、トランジションの発火が起こる。図1-1の避難シナリオの基本概念構成の記述との対応で言えば、PT2, PT3は、それぞれ、T0, T1間、T1, T2間の移動時間に相当する。

図2は、図1-2のペトリネットによる避難シナリオの記述例に、災害阻害の追加と、その事前/事後対策ネットを追加している。図中、破線で囲まれた部分は、図1-2の基本ネットである。図1-2では、T2に抑止アークが

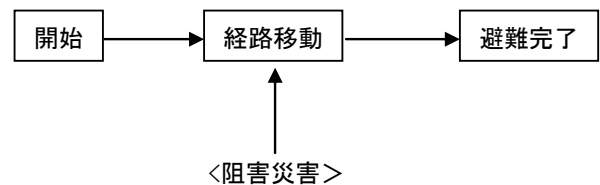


図1-1 避難シナリオの基本概念構成

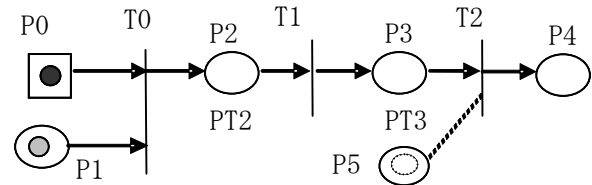


図1-2 ペトリネットによる避難シナリオの記述例

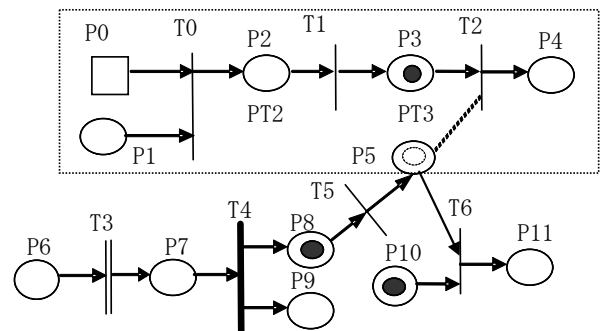


図2 災害阻害の追加と事前/事後対策

かかっており、発火則よりP5内にトークン●が打たれた場合、T2に抑止がかかり、P4への移動、すなわち、避難終了とはならない。そこで、P6を地震の発生とし、二重線で記述されるT3は、カラー生成選択トランジションを表わし、P7で確率的にカラートークンが発生する。このカラートークンの発生率は、外生的に与えることができる。次に、T4は選択トランジションを表わし、カラートークン属性により、P8, P9のいずれかにトークンが選択される。P8にトークンが打たれたれば、P5にトークンが移動し、T2に抑止がかかる。即ち、阻害被害が発生したことになる。逆に、P9にトークンが打たれたれば、T2の抑止は起きず、軽微な災害を意味することになる。

T6, P10, P11よりなる部分は、阻害災害対策であり、P10に事前にトークンを配置しておけば、P5にトークンが移動しても、T6が発火し、阻害トークンは消滅し、P11に出力される。即ち、事前対策を意味し、P5にトークンが移動してから、P10へのトークンを配置する事後対策も容易にネット化できる。

以上より、ペトリネットによる避難・阻害の記述は、単純明快であり、その駆動原理も容易であることが理解できよう。さらに、阻害の追加や、事前事後対策といった、防災計画に対応したネット記述の追加性・拡張性についても容易に理解できよう。以上のように、ペトリネットの駆動原理である、共通要素、共通構造、共通駆動原理を基礎として、生成・選択といった災害情報系の追加といった展開性・理解性に特徴があることが分かる。

```

経路1 - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
PLACE 6
-1 0 0 2 99//P0 住宅
-1 0 0 1 //P1 避難情報
-1 10 0 1 //P2 移動1
-1 30 0 1 //P3 移動2
-1 0 0 1 //P4 避難場所
2 -1 20 0 1 //P5 阻害災害
end

TRAN 3
0 1 -1 2 -1 0 0//T0
2 -1 3 -1 0 0//T1
3 -1 4 -1 0 0//T2
end

TOKEN 1000
0 5
1 20
-2

GENE 0
-1

generatranZ
  
```

図3 ペトリネットの Sdata 形式記述

著者らが開発したペトリネット・シミュレータを実行するためには、はじめに、Sdata を作成する必要がある。Sdata とは、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。その構造は、プレース数、トランジション数、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実行する上で必要なデータをテキスト形式で記述したものである。

図3に、図1-2のペトリネットによるSdata記述を示す。図3の灰色で示した部分が、Sdataの基本フォーマットで、PLACEとTRANの下に、それぞれの総数分の行を用意して、プレースとトランジションの特定化記述される。

図3の上部破線で囲まれた部分①が、プレースの記述部である。各プレース特性の記述部分を概説する。

2行目は、1列目に、抑止の記述を記す。対象プレースから抑止がなければ、2列目に抑止の記述の終わりを示す-1と記述する。2行目から5行目は、抑止がないため空白となる。3列目に、プレースタイマの値を設定する。4列目に、トークンのカラーの種類を記述する。前に存在したプレースから継続する場合は0と記述する。5列目は、トークンの表示・非表示の設定であり、表示する時は1と記述し、非表示の時は0と記述する。1と記述すると、プレース形状は○となる。2行目では、2とし、ここで99と指定しているのでプレース形状が四角となる。3行目は、避難情報を、4、5行目は、経路プレースの設定であり、3列目にプレースタイマを設定している。プレースタイマとは、プレースの前後のトランジション間の移動時間で、距離差といった数値差を平均移動時間で割ることにより設定する。7行目の、最初の2は、P5から抑止アークがT2(トランジション番号2)にかかることを意味している。各行の最後の//以降は、コメントを記述する。endは、各プレース特性の記述終了の宣言を表わす。

次に、図3の下部破線部②は、トランジションに関する記述である。

対象トランジションから入力するプレース番号を順不同で、スペースを入れて連続に記述し、終わりに-1と記述する。3列目は、対象トランジションから出力プレース番号を記述し、終わりに-1と記述する。5列目は、対象トランジションが普通のトランジションであれば0、カラー生成トランジションであれば1、カラー選択トランジションであれば2と記述する。6列目は、トランジションの表示・非表示の設定であり、表示の場合の1、非表示の場合の0となる。

以下、シミュレータを用いた実行手順を説明する。はじめに、メモ帳やエクセルを用いて図3に示す経路1.Sdataを記述する。このとき、ファイル名に拡張子.Sdataを付けて

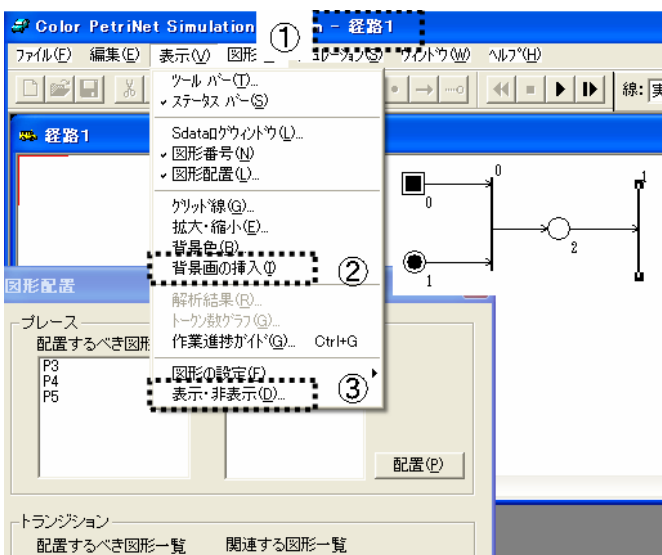


図4 ペトリネット・シミュレータの基本メニュー

(2) ペトリネット・シミュレータの概要

テキスト形式で保存する。次に、シミュレータ実行ファイル Petri.exe を起動し、経路 1.Sdata を読み込む。ペトリネットによる解析のみであれば、図3の経路 1.Sdata だけで可能であるが、本シミュレータでは、その視覚化に大きな特徴があるため、図4に示すペトリネット・シミュレータの基本メニューを備えている。画面右の図形配置ウィンドウは、図3のプレース、トランジションを手で配置するための画面である。アークについては、図3の経路 1.Sdata が参照されて自動描画される。全てのプレース、トランジション配置終了後、プレース、トランジションの位置等の情報は、自動的に図5の経路 1.Ndata として生成される。

図5の灰色で示した部分が、Ndata の基本フォーマットで、Sdata を用いて配置した PLACE と TRAN の x, y 座標が記録されている。そして、PLACE については、描画したプレースの半径が radius に記録されている。TRAN については、アークとトランジションの交わる角度が記されている。

図5の破線部①は、各プレースの左上を原点とする中心 (x, y) 座標と、プレースの半径を表している。破線部②は、各トランジションの中央部の (x, y) 座標と、トランジションとアークとの角度: angle を表わしている。

シミュレータの実行には、一対対応となる Sdata, Ndata が必要となる。図4のメニュー中、②の部分、表示 (V) プルダウンメニューの、“背景画像の挿入 (I)”は、地図等の背景画像を読み込むためのメニューである。③の、“表示・非表示 (D)”とは、図右のペトリネット図の、アーク、トランジション等の表示・非表示に関するメニューである。これらの機能は、次項で使用している。

経路1 - メモ帳				
ファイル(F)	編集(E)	書式(O)	表示(V)	ヘルプ(H)
PLACE absolute position x, y, radius				
0	571	124	12	①
1	570	176	12	
2	739	141	12	
3	887	143	12	
4	1024	149	12	
5	883	201	12	
TRAN absolute position x, y, angle				
0	660	140	90	②
1	805	145	90	
2	953	160	90	

図5 ペトリネット Ndata ファイル

(3) 中山間地の避難計画シナリオのペトリネット・シミュレーションの構成

a) 対象地域の概要と基本ネット図

著者らが対象とする中山間地は、愛媛県久万高原町柳谷中津集落である。この地域は、幹線道路である国道 33 号線から枝上に分岐した地点に位置し、山間斜面に住宅が点在している。この地域全域が、山崩れ危険地域に指定されており、土砂災害危険渓流、崖崩れ危険箇所も点在している¹³⁾¹⁴⁾。

著者らは、(2)のペトリネット・シミュレータを用いて、上述した地域の避難計画シナリオ・ペトリネット・シミュレーションの開発を行っている。図6に、

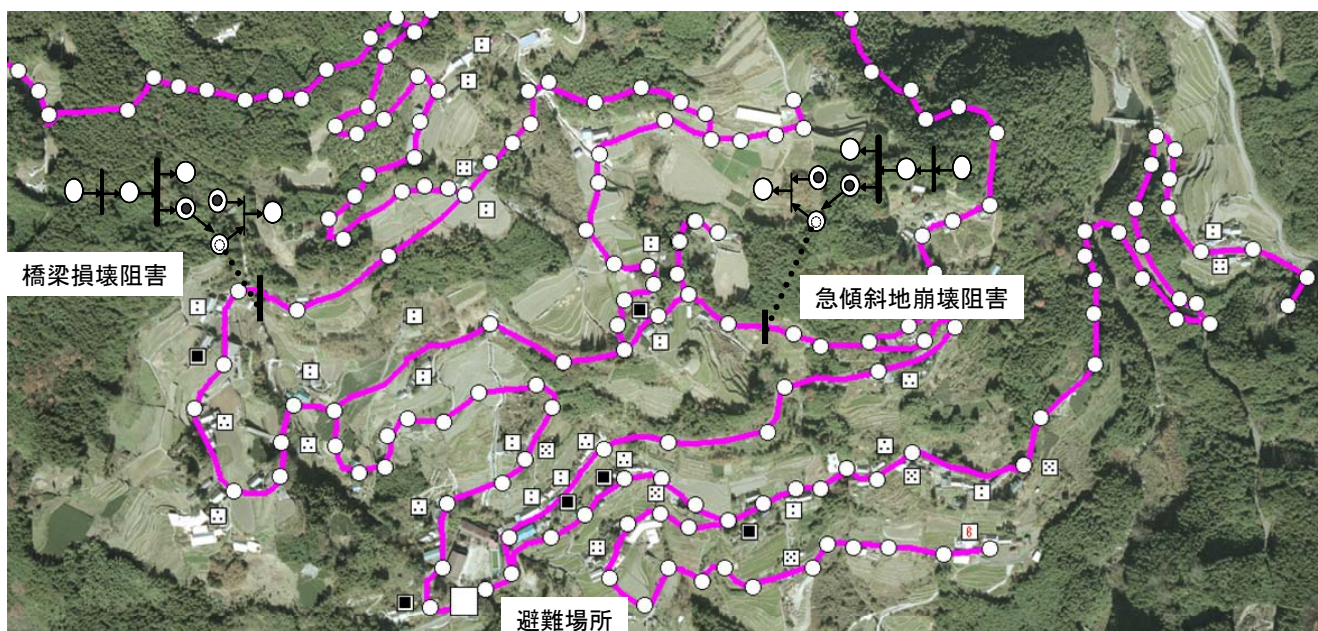


図6 愛媛県久万高原町柳谷中津集落周辺の基本ペトリネット図(航空写真を背景画像として)

作成した適用地域のペトリネット図を示す。このネットの構成手順を、以下に述べる。

まず、紙面上に手書きで、図 1-2 のペトリネットによる避難シナリオの記述のように、対象地域の住宅、経路にトランジション、プレースを配置する、次に、図 3 のペトリネットの Sdata 形式記述フォーマットに従い、対象地域の Sdata を作成する。そして、Petri. exe を実行し、作成した Sdata を読み込む。そして、図 4 のペトリネット・シミュレータの基本メニューの“ネットの配置”機能を用いて、プレース、トランジションを配置する。次に、“背景画像の挿入”機能を用いて、当該地域の航空写真を表示する。最後に、背景画像上に、プレース、トランジションを空間対応化させる。以上の操作が完了すると、プレース、トランジションの位置座標が自動的に図 5 で説明したフォーマットで Ndata として保存される。

以上の手順で、シミュレータ用のデータ (Sdata, Ndata) が作成された。この基本データに背景画像から阻害要因を検索し、図 2 の災害阻害の追加と事前/事後対策を Sdata に追加する。図 6 では、シミュレータの表示・非表示機能を用いて、家屋・経路プレースのみを表示している。図中、四角のプレースは、図 1-2 で述べたように、住宅プレースを表わしている。また、それらのプレースに打たれたトークン数は、世帯の住民数を表わしている。図中、中央下側の大きな四角は、避難場所 (廃校になった小学校) の正門を表わしている。図中、左側、右側には、それぞれ、橋梁損壊被害、急傾斜地崩壊被害による、阻害要因の追加と、事前対策ネットを追加している。この部分ネットについては、シミュレータの表示・非表示機能を用いてネットを明示している。

以上より、阻害や、避難経路の追加についても、基本ネ

ットに、部分ネットを結合させることにより、ネットの追加・拡張による意見・提案の組み入れが可能であることが理解できよう。

b) 勾配の移動時間 (プレースタイム) への反映化

著者らは、都市部での避難計画シナリオ・ペトリネット・シミュレーションの開発と適用を行っている。そこでの移動速度は、平地であるためトランジション間の距離を、平均的な移動速度で割った値をプレースタイムとして用いている。一方、中山間地の場合、道路の地形や勾配が、車・徒歩移動速度に影響を与える。そこで、携帯 GPS を用いた移動距離の算定と道路勾配を考慮したプレースタイムの設定に関する提案を行う。

図 7 に、道路勾配を反映化したプレースタイム付与の概念図を示す。図中の破線が、携帯 GPS で計測した 3 次元移動座標 (x_i, y_i, z_i) : (緯度、経度、高度) を表わしている。T0, T1 間の距離: T_{01} は、当該移動点間の距離を算定して、近似的にそれらを足しあわせばよい。プレースタイム PT2 は、T0, T1 間の距離を、移動速度で割った値を用いる。ただし、移動速度は勾配の影響を受けるため、図 7 の T0, T1 高度: z_i の差と、緯度経度: (x_i, y_i) より、勾配 θ_{01} を算定する。算定した勾配を用いて、著者らの経験式 (1)、(2) を用いて、平均移動速度: v を算定する。よって、プレースタイム PT2 には、T0, T1 間の距離: T_{01} を、 v_{as} (登り)、あるいは、 v_{ds} (下り) の値で割った時間を与えればよい。

$$v_{as} = -1.1498 \sin^2 \theta - 0.1814 \sin \theta + 1.4028 \text{ m/s} \quad (1)$$

$$v_{ds} = \text{const}(1.4) \text{ m/s} \quad (2)$$

ただし、

v_{as} : 登り歩行時間 (秒)

v_{ds} : 下り歩行時間 (秒)

θ : 勾配

ただし、住民の避難行動 GPS データが収集できれば、実際の移動時間をプレースタイムとして設定することも考えられる。

3. GPS 計測データによる移動部ペトリネットの構成法

1 章の研究の目的で述べたように、防災計画の実行性を担保するためには、計画への住民の参画化を工夫する必要がある。本論文では、住民の避難行為のシナリオ・シミュレーションへの直接的組み込みの付与を

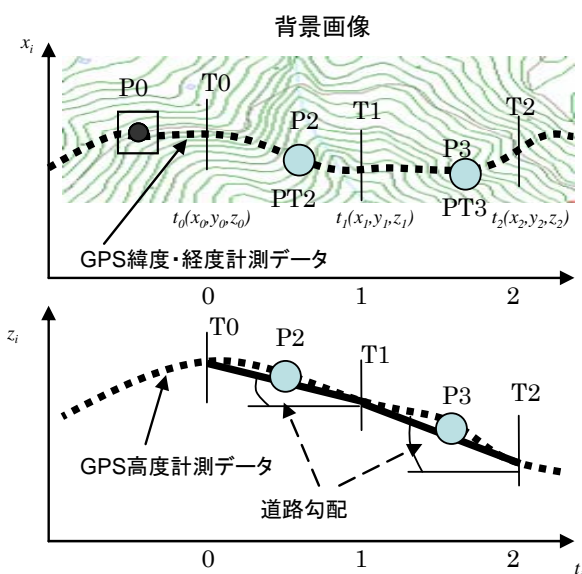


図7 GPS 計測データによる勾配の移動時間を反映したプレースタイム設定の概念

目的としている。従来の計画シナリオを作成するためには、プレースやトランジションを記述したSdataを作成し、背景画像上へ、それらを空間配置することによってNdataを作成した。すなわち、SdataとNdataは一对対応の関係に有る。本論文では、2. (3)で提案したように、携帯GPSで計測される3次元位置座標から、測地系のトランジション座標、経験式によるプレースタイマの推定、直接的なプレースタイマ取得できることを提案した。換言すれば、計測したデータから、Petri系のSdata, Ndataを自動生成することができる。このことは、住民の避難行為の即時反映化や、新たな経路の追加など、さらなる住民参画化のツールとしての活用・展開が期待できる。

本項では、GPSデータのペトリネット・シミュレーションへの自動入力化のための技術開発について述べる。

(1) GPS座標データによる移動部ネットのNdataの生成システム

携帯GPS (EMPEX Map21) を用いて、図6に示す研究対象地域の一部の経路を歩いてGPS計測データを採取した。計測データは、CFメモリに保存し、カードリーダーを用いてパソコンにデータを読み込む。本機種は、保存データのインターバルが最小2秒であるため、2秒毎の計測データを採取した。そして、パソコン上で、計測データより、緯度・経度・高度といった必要なデータのみを抽出し、テキスト形式で保存する。

図8に、開発したGPS-Ndata生成ファイルのコントロールシートと実行ボタンを示す。図8のコントロールシートの実行ボタンと、各シートとの関係は図9のシステム構成となっている。

以下に、各シートの機能について説明する。

<マニュアルシート>

テキスト形式で保存した計測データから、GPS座標系のNdata、すなわち、GPS計測データの軌跡にトランジションを配置し、その中間点をプレースとして自動配置するとともに、トランジション間の移動時間をプレースタイマとして取得するための手順を明記している。

<コントロールシート>

経路データの選択、グラフ表示の選択、トランジションの配置、GPS-Ndataの生成のための入力条件・出力条件といったシート間のデータをコントロールするシートである。図9に示すように、各種実行ボタンをクリックすることにより処理を行う。図10では、1行目で、フォルダを指定して、フォルダ内のGPS計測データ、下り.txt、登り.txtを表示している。ファイルの選択、緯度経度グラフ、高度グラフの描画の有無は、T, Fで指定する。

<経路情報シート>

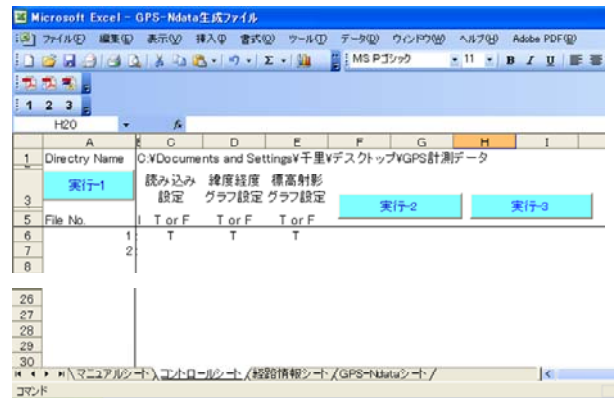


図8 コントロールシートと実行ボタン

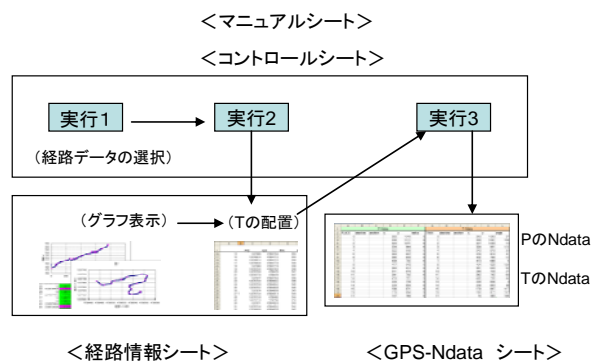


図9 GPS-Ndata生成ファイルのシステム構成

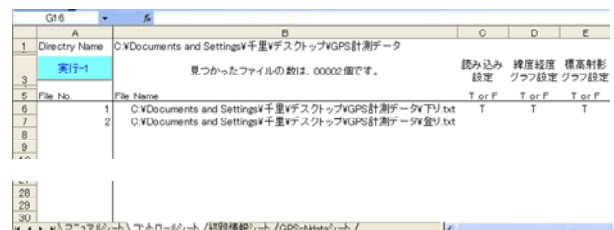


図10 コントロールシートによるGPS計測データファイルの選択・表示グラフの指定

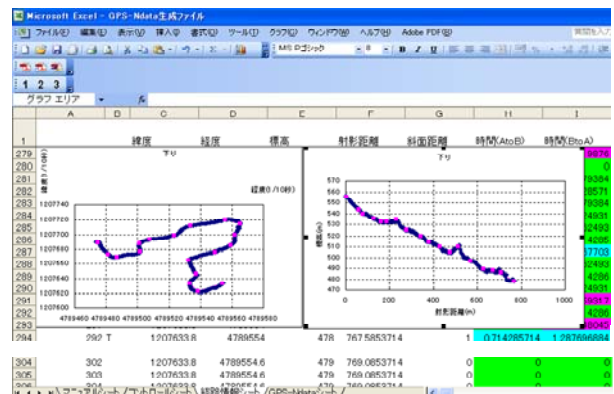


図11 経路情報シートによるトランジションの配置

図 11 に示すように、グラフ表示、計測データへのトランジション配置機能を持っている。GPS 計測データは、複数の経路、属性別経路といったように、それぞれファイル名を付けてフォルダに保存する。はじめに、経路保存フォルダを指定し、ファイル一覧を表示されるとともに、必要な移動部計測データを選択するとともに、図 8 の緯度・経度グラフ、高度グラフの表示の有無を入力する。コントロールシートの実行 2 をクリックすると、経路情報シートに、選択したデータの、緯度・経度・高度情報が表形式で表示されるとともに、指定したグラフも同シートに表示される。つぎに、図 7 で概説したように、形状・勾配グラフを見ながら、トランジションを指定する。全てのトランジションを指定した後に、コントロールパネルの実行 3 をクリックすると、図 12 のように、GPS-Ndata シートに、GPS 座標系のトランジション・プレース座標が出力される。

以上の、一連の操作により、GPS 計測データから、ペトリネット・シミュレーションデータの構成要素である、トランジション、プレースの測地系 Ndata を作成できることが分かる。

(2) Sdata の構成法と背景像上での移動部ネット生成

前項では、携帯 GPS 計測データから、道路勾配を反映したトランジション配置による測地系 Ndata を作成する手順を述べた。本項では、(1) で生成した GPS-Ndata を用いて、Petri 系の Ndata への変換から

1	Transition	緯度	経度	Place	緯度	経度
2	5	T	1,207,634.40	4,789,553.40		
3	26	T	1,207,622.40	4,789,537.80	15	1207626.00
4	38	T	1,207,630.20	4,789,532.40	32	1207624.80
5	57	T	1,207,645.20	4,789,537.20	47	1207637.40
6	79	T	1,207,662.00	4,789,533.00	68	1207653.60
7	100	T	1,207,675.80	4,789,546.80	89	1207669.20
8	114	T	1,207,683.00	4,789,557.60	107	1207680.00
9	132	T	1,207,696.20	4,789,562.40	123	1207689.60
10	155	T	1,207,713.60	4,789,564.80	143	1207704.60
11	167	T	1,207,719.60	4,789,555.80	161	1207717.80
12	196	T	1,207,707.60	4,789,529.40	181	1207714.20
13	212	T	1,207,696.20	4,789,519.20	204	1207701.00
14	224	T	1,207,692.60	4,789,506.60	218	1207694.40
15	232	T	1,207,687.20	4,789,500.60	228	1207690.20
16	244	T	1,207,676.40	4,789,501.80	238	1207681.80
17	261	T	1,207,669.20	4,789,488.00	252	1207672.20
18	269	T	1,207,671.00	4,789,482.00	265	1207669.20
19	298	T	1,207,689.60	4,789,474.20	283	1207680.00
20						
21						
29						
30						

図12 GPS-Ndata シートへの T,P の座標出力

Sdata の構成法について述べる。図 13 は、Sdata 生成ファイルの Petri 系座標変換シートを表わしている。本ファイルのシステム構成は、図 13 のシート名にあるように、GPS-Ndata 生成ファイル同様、エクセルのマクロ機能を用いて、Petri 系座標変換シート、Ndata 生成シート、Sdata 生成シートから構成している。

以下に、各シートの機能について説明する。

<Petri 系座標変換シート>

1	基準点A		基準点B		地点データ			NdataB		
2	経度	緯度	経度	緯度	緯度(1/10秒)	経度	徒歩時間	トランジション番号	X座標	Y座標
3	4789492	1207800	4789761	1207449	1207634.4	4789553.4	5	0	383	1049
4	X座標	Y座標	X座標	Y座標	1207622.4	4789537.8	42	1	336	1111
5	200	200	1000	2000	1207630.2	4789532.4	24	2	320	1071
6					1207645.2	4789537.2	36	3	334	994
7					1207662.0	4789533.0	44	4	322	908
8					1207675.8	4789546.8	42	5	363	837
9					1207683.0	4789557.6	28	6	395	800
10					1207696.2	4789562.4	36	7	409	732
11					1207713.6	4789564.8	46	8	417	643
12					1207719.6	4789555.8	24	9	390	612
13					1207707.6	4789529.4	56	10	311	674
14					1207696.2	4789519.2	32	11	281	732
15					1207692.6	4789506.6	24	12	243	751
16					1207687.2	4789500.6	16	13	226	778
17					1207676.4	4789501.8	24	14	229	834
18					1207669.2	4789488.0	34	15	188	871
19					1207671.0	4789482.0	16	16	170	862
20					1207689.6	4789474.2	56	17	147	766

図13 Petri 系座標変換シート

図 13 に示すように、入力部は①、②である、①は、シミュレータで用いる背景画像の基準点 A, B の緯度経度と、シミュレータ画面の対応する基準点 A, B の (x, y)

座標を入力する。②の部分は、図 12 の GPS-Ndata シートへのトランジション座標出力である。この部分は、自動的に入力される。③には、GPS-Ndata の座標を、Petri 系

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	P-Ndata						T-Ndata					
2	PLACE	absolute	position	x _i	y _i	radius	TRAN	absolute	position	x _i	y _i	angle
3	0			383	1049	6	0			383	1049	71
4	1			360	1080	6	1			336	1111	179
5	2			328	1091	6	2			320	1071	20
6	3			327	1033	6	3			334	994	11
7	4			328	951	6	4			322	908	34
8	5			343	873	6	5			363	837	23
9	6			379	819	6	6			395	800	14
10	7			402	766	6	7			409	732	171
11	8			413	688	6	8			417	643	74
12	9			404	628	6	9			380	612	43
13	10			351	643	6	10			311	674	41
14	11			296	703	6	11			281	732	50
15	12			262	742	6	12			243	751	10
16	13			235	765	6	13			226	778	15
17	14			228	806	6	14			229	834	6
18	15			209	853	6	15			188	871	20
19	16			210	843	6	16			170	862	30
20	17			179	867	6	17			147	766	40
21	18			147	766	6						

図 14 Ndata 生成シート

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	PLACE	19								TRAN	18								TOKEN	100
2		-1	0	0	1	1	//	P	0	0	-1	1	-1	0	0	//	T	0		-2
3		-1	5	0	1	1	//	P	1	1	-1	2	-1	0	0	//	T	1	GENE	0
4		-1	42	0	1	1	//	P	2	2	-1	3	-1	0	0	//	T	2		-1
5		-1	24	0	1	1	//	P	3	3	-1	4	-1	0	0	//	T	3	generatranZ	0
6		-1	38	0	1	1	//	P	4	4	-1	5	-1	0	0	//	T	4		
7		-1	44	0	1	1	//	P	5	5	-1	6	-1	0	0	//	T	5		
8		-1	42	0	1	1	//	P	6	6	-1	7	-1	0	0	//	T	6		
9		-1	28	0	1	1	//	P	7	7	-1	8	-1	0	0	//	T	7		
10		-1	36	0	1	1	//	P	8	8	-1	9	-1	0	0	//	T	8		
11		-1	46	0	1	1	//	P	9	9	-1	10	-1	0	0	//	T	9		
12		-1	24	0	1	1	//	P	10	10	-1	11	-1	0	0	//	T	10		
13		-1	58	0	1	1	//	P	11	11	-1	12	-1	0	0	//	T	11		
14		-1	32	0	1	1	//	P	12	12	-1	13	-1	0	0	//	T	12		
15		-1	24	0	1	1	//	P	13	13	-1	14	-1	0	0	//	T	13		
16		-1	16	0	1	1	//	P	14	14	-1	15	-1	0	0	//	T	14		
17		-1	24	0	1	1	//	P	15	15	-1	16	-1	0	0	//	T	15		
18		-1	34	0	1	1	//	P	16	16	-1	17	-1	0	0	//	T	16		
19		-1	16	0	1	1	//	P	17	17	-1	17	-1	0	0	//	T	17		
20		-1	0	0	1	1	//	P	18	18	-1	17	-1	0	0	//	T	17		
21	end																			

図 15 Sdata 生成シート

ピクセル座標へ変換して出力する。この操作により、測地系のトランジション座標、プレース座標が、背景画像上の Petri 系座標に変換される。

<Ndata 生成シート>

図 14 は、図 13 の③の Petri 系トランジション・プレースの位置座標と、図 12 のプレースの測地系データを用いて、Petri 系 Ndata (図 5 のフォーマットによるプレースとトランジションの位置) を生成するシートである。図 13 の網掛け部分が、Ndata のフォーマット部分である。PLACE の宣言の後の 18 は、プレースの数である。同様に、TRAN の宣言の後の 17 は、トランジションの数である。トランジションの数は、トランジションの行数を引数として入力している、一方、プレースの数は、プレースとトランジションの関係より、トランジション数+1 が、プレースナンバーとなる。ただし、図 7 に示すように、トランジションの位置を決めてから、その中間をプレースとして設定しているため、トランジションの初めと終わりのプレース、図 14 の P0, P18 (最初と最後のプレース) には、トランジションの位置座標が入るように設定している。

Ndata のプレースの半径 : radius は、12 をデフォルトとしている。ここで、トランジションとアークの角度 : angle については、プレースからのアークと直交するように計算式で与えている。

<Sdata 生成シート>

図 15 は、Ndata 生成シートの、プレース数、トランジションを引数とした、Sdata 生成シートである。灰色の部分が、Sdata フォーマットである。①にプレースタイムの値が入力される。②、③は、トランジションへのプレースの入出力関係である。移動部の経路デ

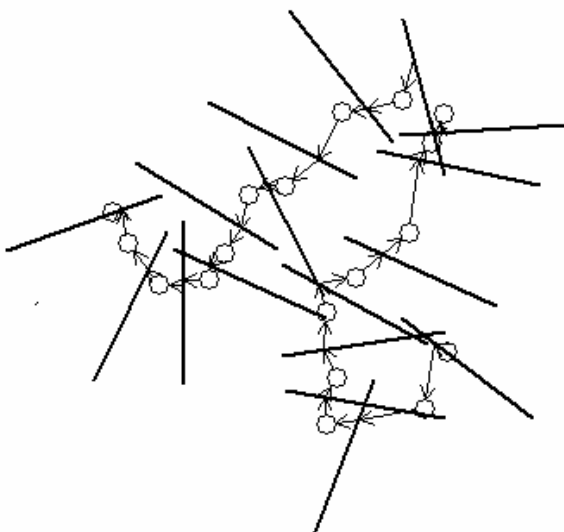


図 16 Sdata 生成ファイルによる部分ネットの生成

ータは、プレースと、トランジションの数が連続的に対応しているため、②、③の入力も自動化できている。

最後に、生成された Sdata、Ndata を用いて、シミュレータ Petri.exe を実行した結果を図 16 に示す。

以上より、住民の避難行為を GPS 計測すれば、提案するシステムによってペトリネットの入力データである、Sdata、Ndata の生成が容易に行えることを提案することができた。このことは、著者らが目的とする、住民の計画への直接参画化への活用・展開が期待できる。4 章では、著者らが、図 6 で提案したシナリオと、GPS データによる避難計画シナリオとの比較・検証を行う。

4. 中山間地避難計画シナリオへの住民の直接参画化支援

著者らは、図 6 に示すペトリネットによる避難計画シナリオを提案している。この計画は、専門家による提案であるため、住民の避難行為と提案した計画シナリオの比較を行い両者の関係を明らかにする。はじめに、著者らが計画した避難シナリオと、住民の避難行動データによる経路ペトリネット・ネットの形状の比較を行う。次に、著者らが想定する速度式によって算定されるプレースタイム値と、実際の移動時間で与えるプレースタイム値の比較を行う。最後に、住民が指摘する徒歩経路の追加を行い、今後の住民参画化の拡大に向けての課題を整理する。

(1) 携帯 GPS データによる避難計画シナリオの経路検証

避難計画シナリオに住民の意見・批判を反映化することは、住民参画化の最初のレベルである。例えば、阻害箇所の新たな指摘や阻害の解除といった意見の反映化については、Sdata に部分ネットの組み入れ・阻害ネットの解除といった操作で即時対応可能である。本項では、はじめに、携帯 GPS で計測した避難データによる移動部ネットと、計画シナリオとの比較を行う。

図 17 は、図 6 の専門家の避難計画シナリオの A から B の経路を 40 代の被験者に携帯 GPS を装備して、徒歩で B の避難場所まで移動してもらった。図 17 は、シミュレータのメニュー画面の表示・非表示機能を用いて、プレースのみ配置している。図 17 より、提案したピンクの経路上に、プレースが配置されていることが分かる。このことは、提案した計画シナリオが、住民の避難行為を反映していることを実証している。換言すれば、住民に全経路を歩いて避難してもらうことによって、全ネットを作成することもできることを意味している。避難行為の途上で、阻害要因を発見し、住民の手で阻害ネットを組み込んでいくことも可能となろう。

つぎに、著者らが提案する勾配をパラメータとする速度

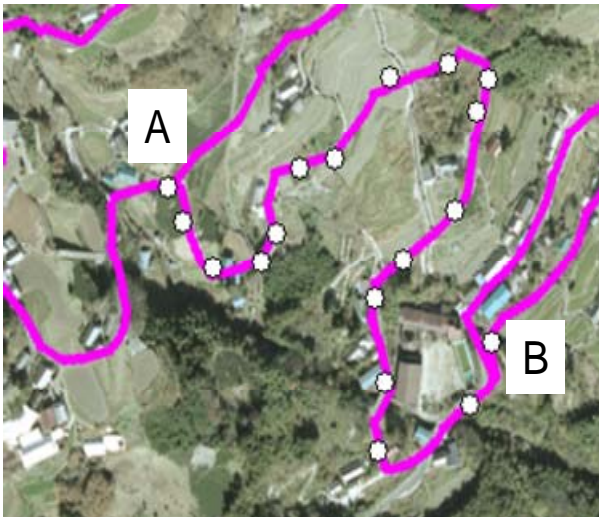


図 17 計画シナリオと GPS 計測部分ネットの比較

表1 PT モデル式と実測値の比較

プレース タイマ	徒歩時間 下り(秒)	モデル式 下り(秒)
PT1	5	10
PT2	42	49
PT3	24	24
PT4	38	39
PT5	44	42
PT6	42	45
PT7	28	32
PT8	36	34
PT9	46	43
PT10	24	27
PT11	58	61
PT12	32	35
PT13	24	26
PT14	16	16
PT15	24	26
PT16	34	36
PT17	16	15
PT18	58	55
合計	591	617

式を用いたプレースタイマ値と、被験者の実測地によるプレースタイマ値を比較した。表1に、結果を示す。表 1 より相関係数を求めると、 $R=0.976$ という良好な結果が得られた。ただし、被験者が 1 人といった限られたデータであり、お年寄り等、被験者属性を考慮したモデル式の検討も必要であると考えている。

(2) 住民の経路提案による避難計画シナリオの組み換え支援

図 18 Sdata への追加経路の記述

図 19 Ndata への追加経路の記述

本項では、住民の体験的知識による提案を避難計画シナリオに組み入れるための支援について述べる。図6の避難計画シナリオは、著者らの専門家による提案である。この避難シナリオを住民に送付し、災害時に避難経路を図示していただいた。その結果、徒歩限定避難経路が 6 箇所あることが明らかになった。これらの住民提案の避難路を、図 6 の避難シナリオに組み替えるため、携帯 GPS を装備し、6 つの経路を徒歩で移動した。それらのデータを、3. GPS 計測データによる移動部ペトリネットの構成法を用いて、図17のように背景画像に対応した Sdata、Ndata を生

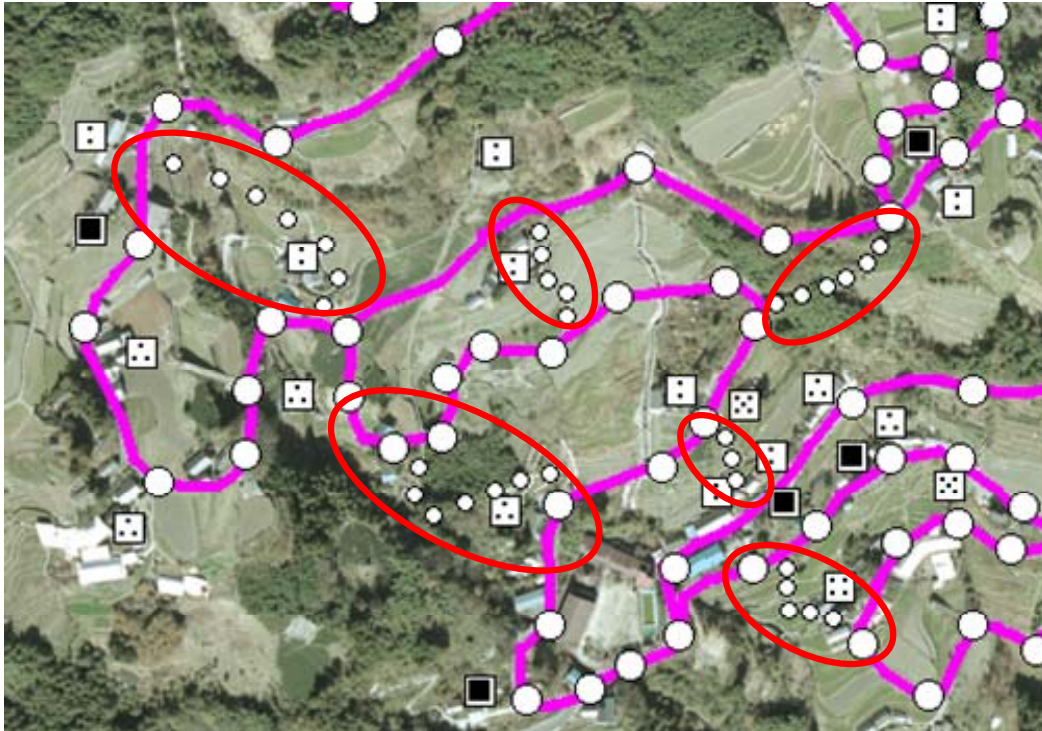


図 20 住民提案経路の計画シナリオへの反映化

成した。そして、それぞれのデータを、図 6 の Sdata、Ndata に追加すれば、住民の提案する経路のシナリオが追加できる。図 18,19 に、図6の Sdata、Ndata へのデータの追加事例を示す。

最後に、図 20 に、6 つの住民提案経路の計画シナリオへの反映化図を示す。

以上より、住民の避難行動や経路の追加といった意見・批判を、提案したシステムを用いることに、計画シナリオに容易に反映化できることを示すことができた。

5. おわりに

著者らは、住民が主人公であり、その自主的な取り組みを支援するツールが肝要とし、記述性と拡張性に富むペトリネットを基盤に、背景画像上で構築・実行可能な避難計画シナリオ・シミュレータを開発してきた。すなわち、背景画像として、電子地図や航空写真や衛星画像などを使用することにより、市街地では、建物倒壊や火災延焼災害による避難阻害状況、中山間地では、橋梁破損や斜面崩壊による避難阻害状況の想起を可能とし、それらの想起を基に、避難計画シナリオとそのペトリネット構成を行うことで、住民の経験知が働く背景画像上での視覚型シミュレーション実行を可能とする支援ツールを提案してきた。

このツールでは、ペトリネットが具備する対象系の記述化とその駆動化の基本原理の単純・明快性と、上述の経験知の働く視覚化性と相まって、理解と発言が住民にも比較

的容易にできるという点で、住民の自主的取り組み支援に一定の寄与をするものと考えている。しかし、その自主性は、意見の反映性のレベルに留まる限定的なものであり、よりいっそうの参画化支援への技術展開が望ましい。本研究では、携帯 GPS 情報の利用との連携の下で、本システムの参画化支援レベルの向上化について報告を行った。

まず、2. では、著者らが開発してきたペトリネットシミュレータの基本原則と、中山間地避難計画シナリオシミュレーションへの適用事例の概説を行った。また、ここでは、中山間地特有の高低差情報のプレースタイマへの反映化技術として、3次元GPSデータの活用化について述べた。

3. では、逆に、このGPSデータより避難計画シナリオの基本部分ペトリネットを生成するシステム提案を行い、携帯GPSの使用により、住民の避難行動が直接シナリオ・シミュレーションに反映可能となることを示し、そして、4. では、その事例研究を提示し、住民の避難計画へのより直接的な参画性の向上化について論じた。

今後の課題として、今回、一人の被験者による限定的な経路の分析に留まっているため、住民による経路データを収集して、著者らの勾配による経験式の精度の検証を行いたいと考えている。仮に、経験式と住民データに大きな乖離が無いとすれば、提案した計画シナリオの信憑性の認識に繋がるであろう。逆に、再現性が乏しいならば、住民個々人の避難速度によるプレースタイマを設定する必要がある点で、提案したシステムを用いる意義は大きいと考えている。いずれにせよ、開発したシステムを住民

参加の下で活用することにより、別の課題が見えてくるかも知れない。その意味で、実務による課題の抽出と問題解決のためのアプローチを行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 中央防災会議：災害被害を軽減する国民運動の推進に関する基本方針，2006.4.21
- 2) 中央防災会議：平成 18 年度総合防災訓練大綱，2006.4
- 3) 目黒公則，芳賀保則，山崎文雄，片山恒雄：バーチャルリアリティの避難行動シミュレータへの応用，土木学会論文集，No.556/ I -38, 197-207, 1997.4.
- 4) 山崎文雄編：「社会基盤システムの実時間制御技術」9章 災害時の避難行動空間モデルの構築，科学研究費特定領域研究成果報告書，2000.3
- 5) 近田康夫，廣瀬智士，城戸隆良：CAを用いた歩行シミュレーションモデルの構築，土木情報システム論文集，Vol.9, 19-30, 2000.10.
- 6) 中西英之，小泉智史，石黒浩，石田亨：市民参加による避難シミュレーションに向けて，人口知能学会論文集，18 巻6号a, 643-648, 2003.
- 7) 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。
- 8) 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。
- 9) 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。
- 10) 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。
- 11) 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。
- 12) 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。
- 13) 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
- 14) 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/dm>

(2007.5.18受付)