

要援護者避難支援システムの開発と 津波避難地域への適用研究

秋月 恵一¹・二神 透²

¹学生会員 愛媛大学大学院 理工学研究科生産環境工学専攻（〒790-8577 松山市文京町3番地）

E-mail:akizuki.keiichi.09@cee.ehime-u.ac.jp

²正会員 愛媛大学准教授 防災情報研究センター（〒790-8577 松山市文京町3番地）

E-mail:futagami.toru.mu@ehime-u.ac.jp

2006年以降、国のガイドラインと都道府県の指導の下、市町村は災害時の要援護者の支援計画を策定している。しかし、それらの計画の多くは、個人情報等の理由で、進んでいないのが現状である。東日本大震災においても高齢者の犠牲者は6割以上であった。

著者等は、要援護者の避難計画を支援するシステムの開発を行い、住民との双方向リスク・コミュニケーションを目指している。具体的には、地域で要援護者を支え、避難場所への避難を視覚的アニメーションするシステムである。本研究では、システムを愛媛県明浜町俵津地区に適用し、避難の阻害を想定したシミュレーションを開発した。今後、著者等は、住民とともに実際の避難の阻害を検討し、様々な状況下での避難の問題と解決方法を提示したいと考えている。

Key Words : tsunami, simulation, vulnerable people supporting

1. はじめに

2011年3月11日に東日本大震災が発生し、地震・津波の被害で多くの命が失われた。内閣府の報告¹⁾によると被災地全体で65歳以上の高齢者の死亡率が約6割であり、また障害者の死亡率は被災住民全体の死亡率の約2倍等になると報告されている。要援護者の計画支援は、国のガイドラインに基づき、都道府県の指導の下、各市町村が策定している。しかし、自治体間の温度差は高く、多くの自治体での個別支援計画が進んでいないのが現状である。近々、南海トラフ巨大地震が発生するといわれており、発生すれば愛媛県宇和海沿岸で津波が発生する可能性は非常に高いといわれている。今年9月に発表される津波想定高さでは現在の想定より高い想定になると思われる。東日本大震災以降、津波に対する防災意識は高まったと考えられるが、津波被害をイメージすることは難しく、同様に津波避難もイメージしにくい。津波から命を守るためには避難計画を立て、災害時にはそれを実行する必要がある。また地域で要援護者を支える支援計画も考案・実行する必要がある。

シミュレータを用いた防災支援に関する研究は、数多く存在する。片田ら²⁾は災害時の情報伝達、避難行動、津波氾濫を考慮にいたった津波災害総合シナリオ・シミュ

レーションを開発し、様々なシナリオを想定し空間的・時系列的に住民分布と津波氾濫との関係进行分析し、人的被害の発生を推計している。また要援護者の避難に関するシミュレーションも存在し、上田ら³⁾は地震火災時の要援護救助シミュレーションの開発を行っている。対象地域で要援護者救助体制に関するアンケートを行い、各ケーススタディにおいて行政が関与しての要援護者救助シミュレーションを実行し、避難完了者数と、死亡者数を推計している。二神ら⁴⁾も津波シミュレーションの研究を行っており、津波避難地域を対象に、避難計画支援システムを開発し、適用研究を行っている。避難計画支援システムとは、ペトリネットを用いた避難行動シミュレーションに、住民の意見を反映して生成するシステムである。二神らは、俵津地区住民を対象に、DIGとシミュレータを用いて、要援護者の支援に関するワークショップを行い、事後アンケートを取り、防災意識の変化を分析している。その結果、DIGよりもシミュレータの方が、要援護支援の必要性を感じる割合が高くなった。しかし、上記した既往研究の1つ目は、“要援護者の具体的な避難計画と、イメージを高める”ことができない。2つ目は、“地域での要援護避難”となっていない。3つ目は、“住民の意見をその場で反映させる”といった点が考慮されていない。

そこで本研究の目的は、津波被害が予測される地域に対し、住民の避難シナリオ・汎用シミュレータの開発とともに、地域で要援護者を支え、避難場所へ逃げるイメージをより具体的に提示する機能を追加する。そして対象地域を南海トラフ巨大地震の際に津波被害が予測される、愛媛県明浜町俵津地区（以下、俵津とする）として、開発したシステムの概要と、適用事例について述べ、最後に課題を整理する。

2. 要援護者支援システムについて

本研究で開発した要援護者支援システムの特徴は、基本データとして国土空間データを使用している点にある。従来は、対象地域の住宅地図より住宅の一軒一軒にトークンを配置し、避難経路をペトリネットで記述し、ペトリネットを駆動することで避難行動をアニメーション化していた。すなわち、ペトリネットの駆動原理で避難行動を動的に再現していた。そのためには、プログラミングの熟練と、デバックの膨大な時間が必要となっていた。

本システムは、建物データを国土空間データより抽出し、その重心にトークンを配置し、避難可能な避難路を住民自らマウスでネットワーク化すれば、自動的にペトリネットシミュレーションが作成できるシステムとなっている。新たな避難路や、現在は空き地になっている場所など、地域に即したデータを住民が自ら作成できるようになっている。

以上のように、基本システムデータの作成することができる。次に、詳細設定・実行プランを用いて、避難場所の設定や、避難障害個所の設定、支援者の設定、要援護者の設定、交差点確率を与え、シミュレーションの実行を行う。以下に、システムの概要について説明する。

(1) 背景画像・道路データ・避難経路の設定

本研究で用いる要援護者避難支援システムは、2つのソフトを使用している。まず、火災延焼シミュレーション・データ作成ソフト（FSSdata.exe）を使用して対象とする地域データを国土空間データより読み込む。図-1に対象地域である明浜町俵津地区のデータ（背景画像・建物データ）を示す。次に、同ソフトを用いて、図-2のように、建物の中心に避難世帯であるトークンを自動生成する。このとき、空き家があれば、トークンを削除することができる。そして、マウスで避難経路となる交差点を設置し、交差点をクリックし繋ぎ合わせることで道路を設置することができる。以上の操作で、避難経路を作成することができる。また、ここで避難者の移動速度を設定することができる。ここまでの操作は全て火災延焼シミュレーションデータ作成ソフトで行うことができる。

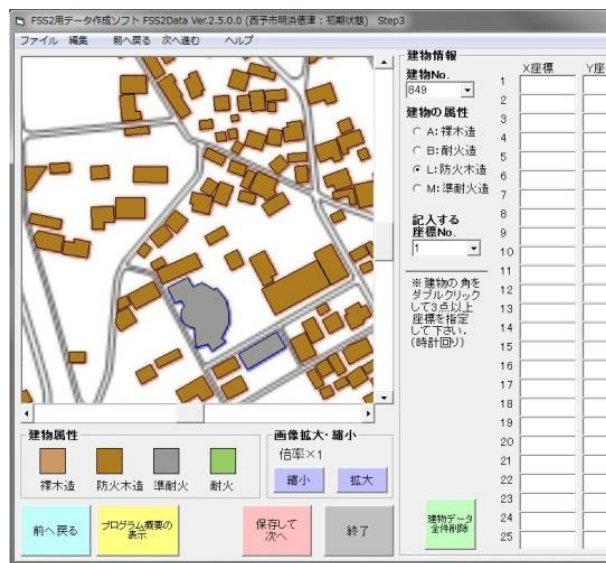


図-1 背景画像、建物データ



図-2 交差点・道路・避難者設定画面

(2) 交差点選択確率・避難場所・障害の設定・要援護者支援計画の設定

ここでは、ペトリネットパラメーター設定・実行ソフト（PetriData2_Light.exe）を使用して、図-3のように避難場所に向かう交差点の確率を設定する。現在のところ、世帯ごとに指定された避難場所までの経路を、交差点の設定確率を入れながら経路を確定している。図-4は、画面右の水色が避難所、左側の黄色が通行障害箇所を設定している。

図-5, 6は、要援護者と、要援護支援者の設定画面である。要援護支援者は、家からでる方向、通行経路、要援

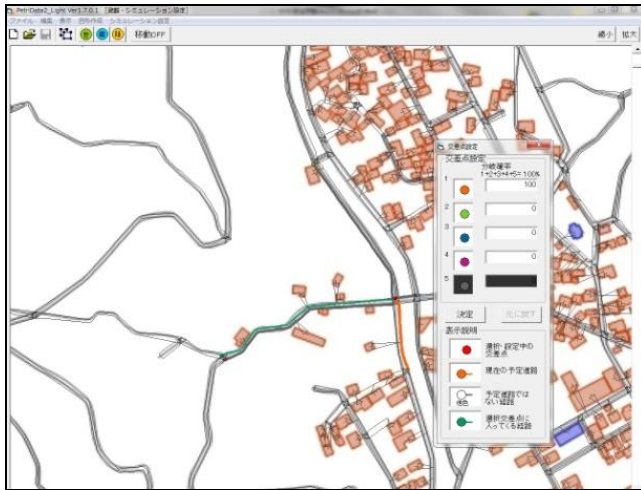


図-3 交差点進行方向設定画面



図-5 要援護者支援者の避難者設定画面

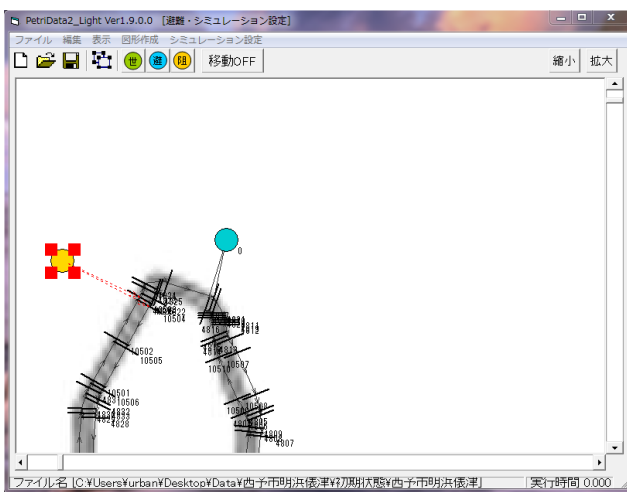


図-4 避難所・通行障害設定画面



図-6 要援護の避難者設定画面

護者宅への進行を設定している。要援護者は、支援者が来る方向、家から出る方向、避難所までの避難経路を設定する。図-7にはシミュレーション実行画面を示す。メニューの項目で、「全世帯避難」・「要援護者の避難」・「任意の世帯の避難」の3つモードを選択することができる。これらのモードはシステムを用いる主体によって異なる。行政や自主防災会役員は「全世帯避難」に関心があるかもしれない。要援護者にとっては、支援者の到着時間、避難所への到達時間をシミュレーションする「要援護者の避難」に関心があると思われる。個人にとっては自宅からの避難経路、避難時間といった「任意の世帯の避難」に関心があるだろう。このとき、家屋の倒壊や、暗渠の上が道路になっている避難路などに通行障害をかけたり、避難場所そのものが使えない場合の避難行動をアニメーションで把握することもできる。このシステムの特徴は、上記の手順の操作が全てクリックのみで行うことができ、幅広い年齢の方が操作可能であり、シミュレーションの実行と変更が同じソフトで行

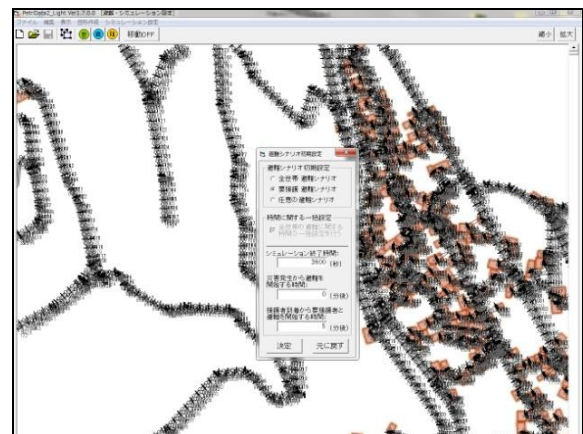


図-7 シミュレーション実行設定画面

えるため、様々な状況に合わせて、その場でシナリオ設定の変更ができることも特徴である。以上のように、開発したシステムは、専門家・自主防災組織・行政が連携し、リスクコミュニケーションのツールとして、また、要援護者の支援計画の策定に大きく貢献できると期待している。

3. 俵津地区への適用事例

(1) 今後のワークショップに向けて

本研究では、2010年2月に発生したチリ地震に伴う津波によって、避難勧告が発令された地域で、なおかつ南海トラフ巨大地震が発生した場合に、津波による被害が想定される愛媛県西予市明浜町俵津地区を対象地域とする。俵津地区では、前のシステムである要援護者支援システムを見ていただいた際に、我々が避難経路として抽出した道路以外にも、避難経路として使うことのできる細街路が存在すると指摘を受けた。前システムではプログラムで状態を記述していたため、その場でデータの修正を行うことができなかったため、双方向のコミュニケーションができなかった。しかし、本研究で使用するシステムは、その場で住民の意見を取り入れることができるため、今後のワークショップについては、愛媛県の津波被害想定計算結果を基に、地震・津波による避難阻害を設定したうえで行いたいと考えている。

(2) 河川遡上を考慮した避難区割りの変更

俵津地区では、図-8 1), 2)の画面中央に矩形で示す住民が、画面左上から画面下に流れる河川の橋を渡って避難する区割りになっており、実際の避難訓練でも図-8の②の避難場所へ避難を行っている。しかし、俵津の連合自主防災会会長は、東日本大震災で、津波が川を遡上したことや、使用する橋が供用されてから60年以上経ていることから、この地域の避難区割りを変更し、図-8 2)⑤の津波避難場所へ避難することを考えている。

そこで、開発したシステムの「全世帯避難」モードを用いて1)川を跨った避難 2)川を避けて避難した場合の避難時間と避難場所収容時間の関係について分析を行った。今回は図-9に示す範囲でシミュレーションを行った。全世帯のシミュレーション結果は1)の場合は844秒、2)の場合は863秒という結果になり区割りを変更を行っても全体で考えると19秒の違いであった。ここで図-8の矩形で示す住民が1)の避難を行う場合（避難所②）と2)の避難を行う場合（避難所⑤）の避難所ごとの移動時間と避難者収容率の比較を行った。その結果のグラフを図-10に示す。1)の場合の移動時間は13分41秒、2)の場合は14分21秒となり40秒ほど差はでたものの図-10より川を避けて避難する方が早い時間で避難所に達する世帯があることが分かる。俵津地区では、2012年8月29日に出された、南海トラフ巨大地震の津波想定高の変更を受けて、図-8の一部の避難場所の位置を変更している。そこで、本システムを用いて、全体の避難区割の変更等についても検討することも必要になると考えられる。

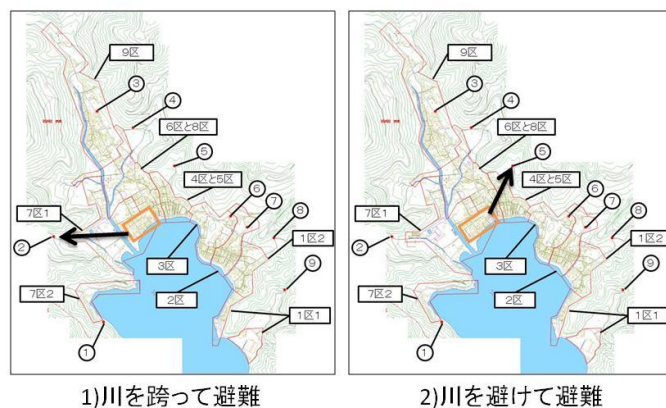


図-8 河川遡上を考慮した区割りの変更

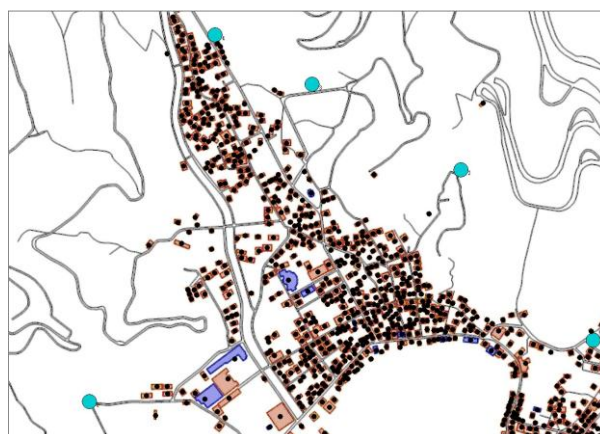


図-9 シミュレーション範囲

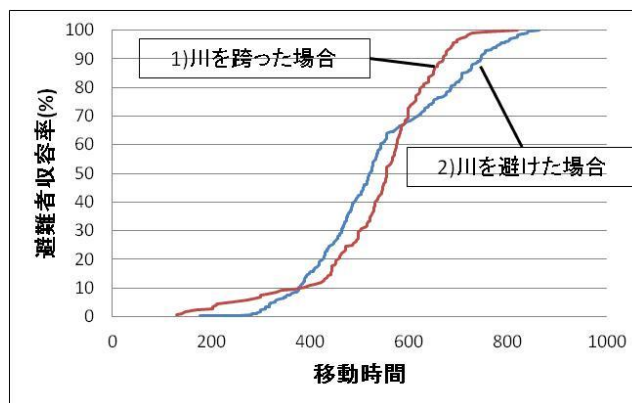


図-10 避難区割りの変更による収容率の分布図

(3) 要援護者の避難を想定したシナリオ・シミュレーションの適用計算

本節では、要援護者の支援計画について、支援者が要援護者の迎えに行き、共に避難所まで避難するシミュレーションを行った。そして避難所が使えない場合も想定してシナリオの設定を行い、1)あらかじめ指定された避難場所への移動、2)通行阻害により、別の避難場所へ移動といった二つのケースについて適用計算を行った。

図-11の画面下側に支援者を、画面真ん中に左側に要

援護者を設定している。支援者は、地震が発生してから5分後に要援護者の支援に向かい、7分50秒後に要援護者宅に到着し、その後5分後に要援護者とともに、図-11の画面中央の青い丸印番号0の避難場所へ移動する。ここまでの所要時間は、29分36秒かかっていることが分かる。一方、図-11の避難場所に至る避難経路は、急傾斜地が存在するため、大きな地震動に伴い黄色い丸印から破線が伸びた箇所が使えないことも想定される。そこで、破線の箇所に通行障害を設定した。その結果、要援護者と支援者は、通行障害箇所に至ると、避難経路を引き返し、画面左上の避難場所番号1に避難することになる。この時の所要時間は、43分36秒となり14分時間を要することとなる。シミュレータでは、これらの様子をアニメーションで視覚的に確認することができる。



図-11 要援護者避難支援計画の適用計算設定

(4) 個人の避難を想定したシミュレーション

ここでは、個々人の避難支援計画について、指定された避難所へ避難する経路を設定しシミュレーションを行った。(2)と同じように避難所が使えない場合も想定し、1)あらかじめ指定された避難場所への移動、2)通行障害により、別の避難場所へ移動といった二つのケースについて適用計算を行った。避難者は、図-12に示す位置に世帯1、世帯2として2か所に避難者を設定した。避難所は1)では世帯1が避難場所番号0に避難し、世帯2が避難場所番号1に避難、2)では世帯1が避難場所番号0に行く途中に通行障害箇所を設定し、避難経路を引き返して避難場所番号1に避難するよう設定した。(2)と同様に、地震が発生してから5分後に避難を開始するよう設定した。1)のケースでは世帯1が避難場所番号0まで避難するのに要した時間は14分9秒となり、世帯2が避難所番号1まで

避難するのに要した時間は15分56秒となった。

次に、2)のケースである、世帯1が避難する避難場所番号0までの経路に障害を設定し、引き返して避難場所番号1まで避難を行う、シミュレーションを行った結果、27分17秒となり、世帯1に着目してみると1)、2)のケースでの13分8秒避難に要する時間に差が出る結果となった。

以上のように、開発したシミュレーションは様々な、用途・主体に合わせてシミュレーションを実行することができる。シミュレーションは出力としてアニメーションで視覚的に避難行動を捉えることができるため、住民全体の避難の様子、要援護者と支援者の避難の様子、個々人の避難の様子をダイナミックに確認することができる。また、通行障害箇所と新たな避難場所をマウスで設定すれば、避難の様子と所要時間をダイナミックに確認することができる。よって、様々なシナリオに応じた避難が視覚的に確認できるため、避難のイメージを高めることが可能だと考えている。



図-12 個人の避難計画支援の適用計算設定

4. おわりに

本研究では、津波被害地域を対象として、避難シミュレータの開発を行った。このシステムの特徴として即座に住民の意見を反映させることができるので、住民の方と対話を行いながら、より地域に即したシステムを開発できるということと、もう1つの特徴としてクリックのみで操作を行うことができる非常に扱いやすいシステムとなっているため、地域住民が専門家の手助けがなくとも、シミュレーションを扱い、住民同士での話し合いのツールとして利用していただけるようなシステムになっ

ていることである。

本論文では、対象地域において、現在の区割りと河川遡上を考慮した区割りした場合の避難時間の変化を示すことができた。また要援護避難者の避難・個々人での避難においてはシナリオ事例計算ではあるが、要援護者が支援者宅へ至るまでの様子、支援者と要援護者が想定された避難場所絵至る様子、さらに、通行阻害によって、つぎの避難場所に至る様子をダイミックスかつ時間の経過とともに提示することができた。

今後の課題として、今回シミュレーションの開発を行ったが、まだ住民とのリスクコミュニケーションを行うことができていない。そこで、今回作成したシミュレーションを対象地域の方に見ていただき、情報提供を行いながら避難計画支援を行う必要があると考えている。その際、アンケートを実施してシミュレーションを使用することで防災意識にどのように変化があるか調査を行おうと考えている。今後、開発したシステムを用いて、俵津自主防災組織と連携し、要援護者の支援計画に活用したいと考えている。さらに、南海トラフ巨大地震の想定に伴い、各地で避難場所の変更がなされているため、本システムを用いて、津波避難区割りの設定変更等、様々な津波避難地域での活用へ展開したいと考えている。また、今年9月に発表される津波想定高さを基に、時系列で津波による通行阻害を設定したシミュレーションの開

発を行う予定である。最終的には、地域住民が専門家の手助けがなくともシミュレーションを扱い、避難計画の話し合いのツールとしてシステムを利用していただけるようにしていく予定である。

参考文献

- 1) 内閣府：災害時要援護者の避難支援に関する検討会報告書，2013。
http://www.bousai.go.jp/taisaku/hisaisyagyousei/youengosya/h24_kentoukai/houkokusyo.pdf
- 2) 片田敏孝，桑沢敬行：津波に関わる危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリ・シミュレータの開発，土木学会論文集 62(3)，pp.250-261,2006
- 3) 上田遼，瀬尾和大，元木健太郎：地震火災時の災害時要援護者救助シミュレーションに関する研究
-東京都杉並区阿佐ヶ谷高円寺の木造密集市街地を例として-，日本建設学会計画系論文集(622)，137-144，2007
- 4) 二神透，木俣昇，武部真有記：津波災害を対象としたリスクコミュニケーション的考察 ―西予市明浜町俵津地区を事例として―，土木計画学研究・講演集Vol.43,論文No.165,2011.

(2013. 8. 2 受付)

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE VULNERABLE RESIDENTS REFUGE SUPPORTING SYSTEM TO THE TSUNAMI REFUGE AREA

Keiichi AKIZUKI, Toru FUTAGAMI

Municipalities have formulated the support plan of the vulnerable residents at the time of a disaster under instruction of the guideline of a country, and all prefectures in 2006 and afterwards. However, the present condition is not following many of those plans for the reasons of personal information etc. Also in the Great East Japan Earthquake, elderly people's victim was 60 percent or more.

Authors develop the system which supports the evacuation plan of vulnerable residents, and aim at bi-directional risk communication with residents. It is system which supports vulnerable residents regionally and specifically carries out visual animation of the refuge in an evacuation area. In this research, the system was applied to Tawaratsu district area(Akehama town Seiyo city in Ehime Pref.), and performed the simulation supposing prevention of refuge. From now on, authors considered prevention of actual refuge with residents, and think that we would like to show the problem and solution of refuge under various situations.