

大地震時火災延焼シミュレーション・システムを用いたリスク・コミュニケーションに関する研究

二神 透¹・国方 祐希²

¹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

²学生員 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: kunikata.yuki.10@cee.ehime-u.ac.jp

東日本大震災の発生に伴い、今後発生するであろう、首都直下地震、南海トラフ巨大地震の被害想定が報告されている。沿岸部では津波対策、都市部では地震火災対策、中山間地域では孤立化対策を行う必要がある。著者等は、地震火災対策のための火災延焼シミュレータの開発を行っている。従来のシステムでは、地域の建物データを収集し、都市構造データを採取していた。そのため、住民とのリスク・コミュニケーションを行うためのデータ採取に多くの時間を費やしていた。本研究では、国土地理院の国土空間データを用いて、全国の地域を対象とした避難を含むシミュレータ開発を行い、開発したシミュレータを用いた、住民・行政とのリスクコミュニケーションについて述べる。

Key Words : *earthquake fire, risk communication, vulnerable people, refuge plan, questionnaire research*

1. はじめに

東日本大震災以降、国による都市直下型地震の被害想定や、南海トラフ巨大地震の被害想定が行われている。これらの地震が発生すれば、大きな揺れを伴うため、沿岸部では津波、都市部では、建物の倒壊や地震火災、山間地では土砂災害による孤立が想定されている。これまでの災害による防災対策を顧みれば、それらの対策は、後手後手に回っている。例えば、1995年の阪神淡路大震災では、多くの犠牲者が家具や家屋の倒壊によるものであった。国は、耐震基準を見直し、建物の倒壊対策を行った。その後、2004年に発生した新潟県中越地震では、中山間地の防災対策の見直しを迫られた。そして、2011年の東日本大震災は、津波対策の不備が指摘された。

著者等の住む四国では、南海トラフ巨大地震を想定した被害想定が各県レベルで報告されている。愛媛県では、2013年12月27日に、南海トラフ巨大による人的被害想定を報告している。報告書によれば、死者数は16,032人で、それらの内訳は、建物倒壊で6,210人、土砂災害で53人、津波で8,184人、火災で1,585人と報告している。現在、多くの自治体が、建物の耐震診断・改修の補助を行って

いるが、平成20年において、耐震性のない住宅は約1,050万戸と報告されている¹⁾。さらに、平成24年現在で、地震時等に著しく危険な密集市街地は、全国で197地区、5,745h残されている。これらの地域では、行政によって、①建物の不燃化・耐震化に向けた取り組み（不燃化・耐震化・共同化、規制誘導等）、②避難経路確保、空地の確保に向けた取り組み（買収等による道路拡幅・公園整備、セットバックへの助成、老朽建築物の除却、避難経路確保に向けた協定、規制誘導等）、③住民の啓発に係る取り組み（危険度の周知、勉強会の開催等）、④その他の取り組み（避難・防災訓練、防災・避難マップ作成等）が行われている²⁾。著者等は、2009年以降、木密地域である丸亀市城北コミュニティを対象とした、地震火災延焼シミュレーション・システムを用いたリスク・コミュニケーション（地域の地震火災リスクの提示）を行っている³⁾。以下、リスク・コミュニケーションをリスクコミと呼ぶ。それらの結果、住民の防災意識が大きく変わり、住民による継続的な勉強会と避難訓練が継続されている。

2011年は、四国地方整備局建政部と連携し、四国の密集市街とを抱える行政担当者にシミュレーションを提供

して、使っていただいた。また、松山市の連合自主防災会の地域で、シミュレーションについて、利用の可否についてアンケート調査を行っている。2013年には、愛媛県四国中央市妻鳥小学校6年生を対象に、シミュレーション操作前後でのアンケート調査を行っている。2014年には、松山市消防局幹部へのシミュレータ説明会、松山市久枝連合自主防災会役員へのシミュレータ操作説明会、松山市消防局職員へのシミュレータ操作講習会を実施している。松山消防局と連携し、松山市の久枝地区を対象とした地震火災リスクミを行っている。本稿では、シミュレーション・システムをコミュニケーションツールとして活用したことによって得られた知見を整理する。

2. システムの概要

(1) 地震時火災延焼シミュレーション・システム

本研究で用いる大震時火災延焼シミュレーション・システム⁴⁾の特徴は、図-1に示すように、対象地域を設定し、建物のポリゴンデータと属性データより、延焼計算に必要なパラメータを自動作成し、出火点、風向や風速といった気象条件を設定し、同時多発火災の延焼状況を視覚的にかつ定量的に表現できる点である。図-1の図左上は、地域の都市構造データである建物のポリゴンデータを作成・入力するフローである。従来は、現地調査を行い一軒一軒のデータを入力していたが、現在は、図-2のメイン画面から、作成するデータ名を入力し、図-3に示すように、国土地理院の国土空間データ・ポータルサイトから対象とする市町村の2500分の1の測量データをダウンロードし、任意の地域のデータをシミュレーション用のデータに変換してシミュレーションを実行が可能である。すなわち、全国の市街地を対象とした地震火災のシミュレーションが可能となった。また、図-1の右下は、シミュレーションの実行部分であり、建て替えや更地といったデータの修正や沿道不燃化や公園の設置といった都市計画的な対策と評価を行うことができる。

図-4は、丸亀市の木密市街地を対象とした、各種代替案によるリスクを評価し配布したDVDの内容である。風速の違い、空き地の更地化の効果、防火樹木の配置、道路等の都市計画的整備効果のシミュレーション結果を配布している。

つぎに、シミュレーションの気象条件である風向と風速の設定と実行は、図-5の左側の操作画面を用いて設定する。シミュレーションの実行画面は、左側の画面であり、全体画面の一部を示している。家屋が発火した時間は、グラデーションで表しており、マウスで家屋をクリックすると発火時間が数値で表示される。従来は、赤（炎上）、青（鎮火）の2色であったが、松山市消防局

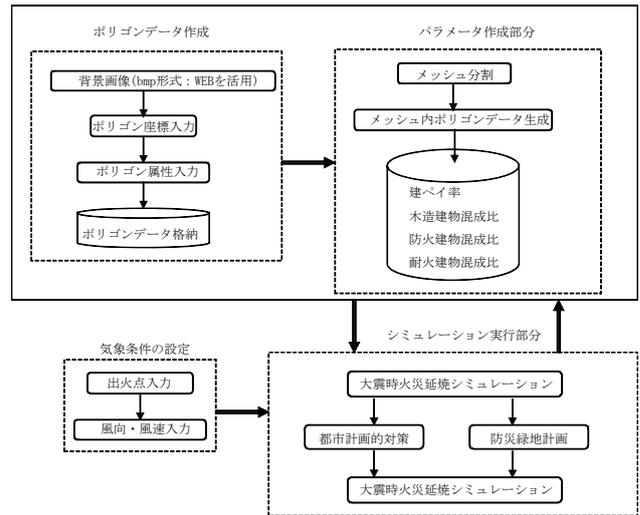


図-1 シミュレーション・システムの全体フロー



図-2 メイン操作画面

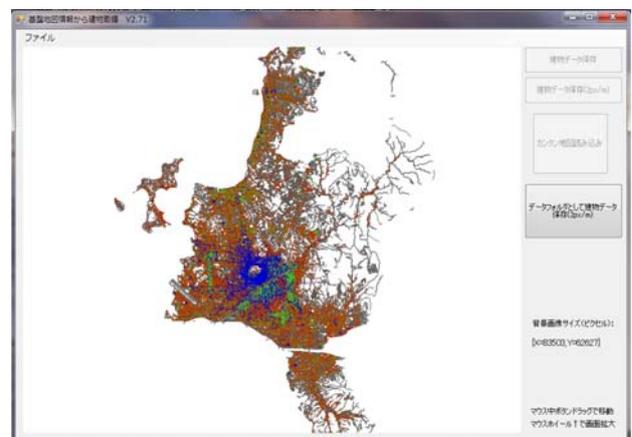


図-3 松山市国土空間データ

職員とのリスクミ時に、発火した時間が分かれば、住民が避難のイメージを抱きやすいのではとのアドバイスを頂いてシステムの改良を行った。実際、2つのグループの自主防災ワークショップにおいて、従来のシステムを提示したグループと、新たなシステムを提示したグループで、自助意識の変化に違いがみられている。今回は、住民に火災から逃げるイメージを持って頂けるように、避難シミュレータの開発を行った。

(2) 地震火災からの避難シミュレータ

地震火災延焼シミュレーション・システムを用いると、地震火災のリスクをより高く認識することがアンケート調査より得られている。しかし、どのタイミングでどの経路を通ってどこへ避難すれば安全なのかといったイメージを持つことは困難である。そこで、どこからどの経路を使って、どこへ避難する（避難のタイミングと避難速度を設定）と、地震火災の延焼とを重ねるシミュレーション・システムを開発した。

図-6は、平成26年度愛媛県の実践的防災教育支援事業のモデル校となる、新居浜市垣生小学校校区の建物データである。図-7は、当該地区の避難経路の設定画面である。図中、青い丸印が交差点であり、交差点を選択すると経路が、緑色で表示される。しかし、道路ネットワークの設定は、マウスで交差点をクリックしながら作成するため、今後、ネットワークの自動採取化を行う必要がある。また、人が避難できる経路は道路以外の小道等もあるため、住民自らが地域の避難経路データを採取することも必要である。図-8は、避難世帯箇所、避難経路、避難場所をマウスで設定した後、地震火災と重ねあわせている画面である。平成25年度は、愛媛県の実践的防災支援事業として、四国中央市妻鳥小学校の6年生を対象に、火災延焼シミュレーションを操作したグループと、避難シミュレータも操作したグループの前後でアンケート調査を行った。火災延焼シミュレーションのみ操作したグループは、地震火災から逃げることを容易と考え、避難シミュレーションと併用したグループは、火災から逃げるのは難しいと考える結果を得ている。今後も、同様な実験を行い、システムがユーザに影響を与える意識変化について分析したいと考えている。

3. 行政・松山市消防局と住民とのリスクミ

2011年度は、国土交通省四国整備局と連携し、図-9に示す四国の密集市街地を抱える行政担当者に地震火災延焼シミュレーション・システムの操作に関する講習会を開催し、シミュレーション・システムを提供した。その後、松山市の久枝連合自主防災会の、高木地区、鴨中西地区住民を対象にアンケート調査を実施し、システムの

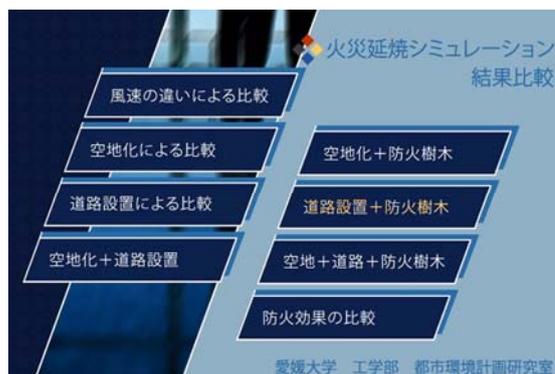


図-4 システムを用いた各種代替案の評価

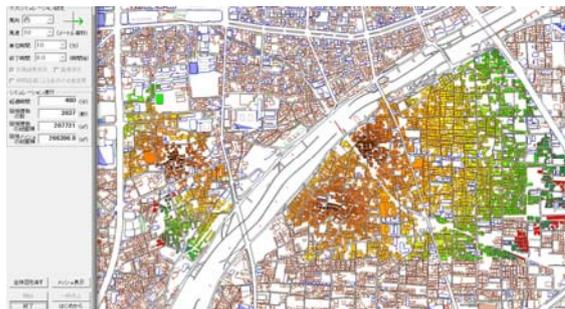


図-5 松山市立花地区でのシミュレーション事例



図-6 新居浜市垣生小学校建物データ



図-7 避難経路の設定画面

利用可能性について尋ねた。その結果を図-10に示す。この図より、行政は使用したいと回答した人が多く、積極的であった。一方、住民はシステムに関して抵抗を持つ人も多い。そのため、システムを容易に取得できるための機会を設けて講習会等を開催し、行政と自主防災組織が住民に積極的に働きかけていくことが重要であると考えている。

2014年には、汎用化した大地震時の火災延焼シミュレーション・システムを、愛媛大学のホームページより公開している。そして、表-1に示すように松山消防署職員、松山市久枝地域を対象とした、シミュレータ操作説明会を実施した。地域の火災リスクの指標である焼失面積について、シミュレータ使用前後でアンケートをとった結果、久枝区域学校関係者、自主防災会住民、消防職員、いずれもシミュレーションを操作した後のほうが、地域の焼失割合の値が大きくなる結果を得た。久枝区域学校関係者と消防職員のグループでは11%上昇し、自主防災住民は、26%上昇する結果となった。また自由記述による、住民の役割、消防の役割についての意見・コメントを整理した結果、「住民の役割としては、火を出さない、初期消火に努める、手におえない場合は逃げる、普段より、安全な避難経路・避難場所を確認する」という意見が多かった。消防署職員の役割としては、「地震火災広報の徹底。事前の戦略の作成、住民・消防が災害のイメージを共有する」という意見が多かった。現在、各消防署には開発したシステムが導入されており、今後、住民との防災対策等のリスクミに活用する予定である。

4. 要援護者の避難シミュレータの開発

著者等が開発を行っている大地震時の地震火災シミュレーション・システムを用いた住民とのリスクミの前後のアンケート調査の結果、自助意識（地震火災は危険・避難する必要がある）が高まることが明らかになっている。一方で、共助（要援護者と一緒に避難する）という意識に大きな変化が無いことも明らかになっている。そこで、要援護者と支援者が地震火災から逃げるためのシミュレータを開発し、リスクミを行えば、地域で要援護者の支援計画が進むのではないかと考えている。以下、要援護者の避難シミュレータについて概説する。

(1) システムの特徴

本研究で開発している要援護者支援システム⁵⁾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を背景画面として読み込み、住宅を避難開始場所とし、避難経路、避難場所の関係を、システムデータとしてプログラミング化し、プレース、トランジション、トークンを配置し、ペトリ



図-8 避難と火災シミュレータとの重ね合せ



図-9 四国の密集市街地を抱える行政へのシステムの提供

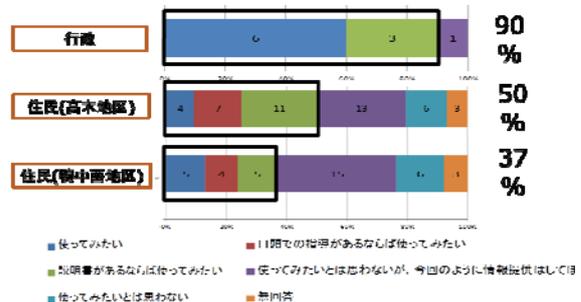


図-10 システムの利用可能性について

表-1 松山市消防局とのリスクミ

松山市消防局連携担当者 市民防災担当課長 金澤英雄 警防課課長 牟禮里義
2014年1月 松山市消防局4階会議室 木下消防局長、岡本企画官、河井企画官 幹部説明会の開催
2014年1月 松山市保健所・消防合同庁舎 5階大会議室 久枝連合自主防災役員 シミュレータ講習会開催
2014年2月 地震火災延焼シミュレータ を松山市消防署各署に実装
2014年2月 松山市保健所・消防合同庁舎 5階救命講習室 各署消火および警棒担当者 PC講習会開催
2014年3月 松山市保健所・消防合同庁舎 5階大会議室 松山市防災士講習会 シミュレータ説明会開催
2014年5月以降 松山消防局、 松山市自主防災会とのシミュレータを用いた ワークショップを開催予定

ネット実行ファイル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。そのため、システムを開発するまでには、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。以下、開発システムの特徴を記す。

本システムは、発想の逆転で、著者等が開発している地震の火災延焼シミュレーションデータを活用することを考えた。はじめに、地震時の火災延焼シミュレーション・システムと同様に、国土空間データより道路データ、建物データを抽出する。そして、更地や、新たな建物が存在する場合は、建物データを修正する。つぎに、図-11に示すように、抽出した建物データにトークン（避難世帯）を自動配置する。空き家の場合は、トークンを削除する。そして、人が避難可能な避難路をマウスで選択し、避難経路のネットワークを作成すれば、自動的に、ペトリネットのプログラムに変換できるシステムとなっている。すなわち、全国の地域を対象として、国土空間データから得られた道路網、住宅情報をベースに、新たな避難路の追加や、空き家のトークンを削除するなど、地域に即したデータを容易に作成できる点にある。

図-12では、交差点の選択確率を与えている。ここでは、最短経路を抽出し、経路を確定している。

図-13は、図-12より得られた、避難経路、避難世帯を用いて、ペトリネットデータに変換した図である。ここでは、要援護者支援者に関する設定（画面中央赤色で囲まれたトークンが支援者、家から進む方向、タイミング）を行っている。図-14は、要援護者に関する設定（要援護者と支援者が家を出る方向、支援者が迎えに来る方向）を行っている画面である。図-15は、通行障害箇所、避難場所の設定画面である。

以上、基本となる世帯情報と避難経路の設定、要援護者・支援者の設定、避難場所と通行障害設定を行えば、避難する様子をシミュレートすることができる。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。

(2) 計算モードの設定

図-16は、シミュレーション実行設定画面で、真ん中のメニュー項目で、a)全世帯の避難、b)要援護者の避難、c)任意の世帯の避難のモードを選ぶことができる。これらのモードは、本システムを用いる主体により異なる。例えば、行政や、自主防災会役員は、それぞれの住民が、どれくらいの時間で避難所へ収容できるのかといったa)の全世帯の避難に関心があるかもしれない。一方、一人で避難することができない要援護者にとっては、支援者がどのくらいの時間で迎えに来て、どのくらいの時間で避難場所へ到達することができるのかといったb)の要援護者の避難に関心があるだろう。個々人にとっては、自



図-11 避難世帯と避難経路の設定

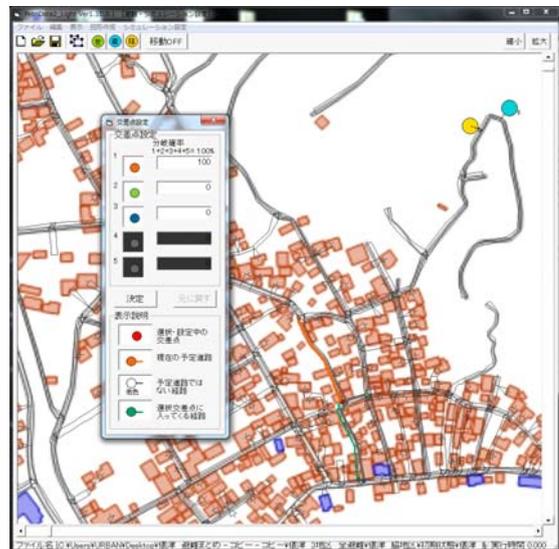


図-12 交差点進行方向設定画面



図-13 要援護者支援者の諸設定画面



図-14 要援護者の諸設定画面

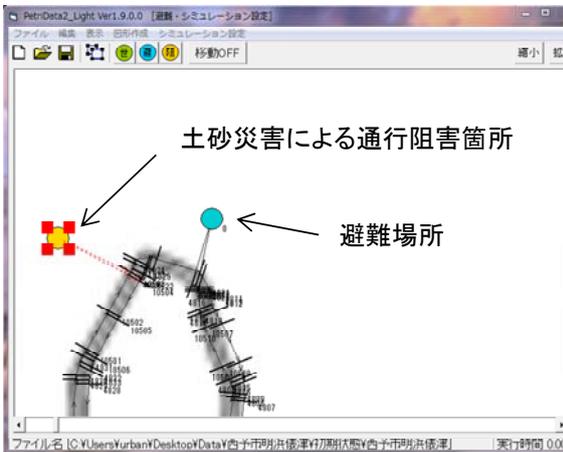


図-15 通行阻害箇所・避難場所の設定

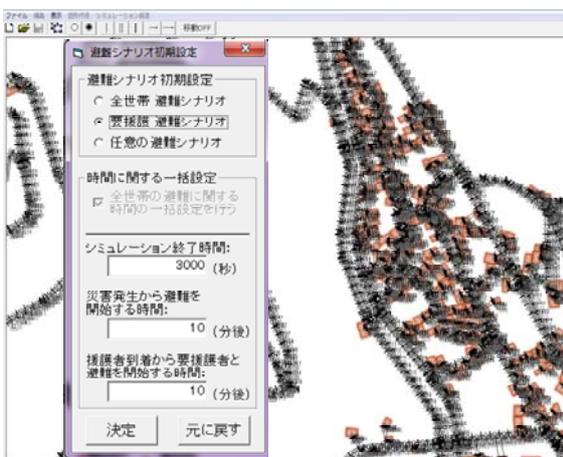


図-16 避難モードの設定

分が想定している避難場所へ、どのように、どのくらいの時間で避難できるのかといったc)の任意の世帯の避難に関心があると思われる。いずれのモードでも、避難路

の沿道に老朽家屋が多い箇所など、通行阻害や、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ができる。

本システムによって、多くの主体が参加し、様々な状況の中で、避難を自分の問題として捉え、いかに要援護者を支援するのかを具体的に認識するためのツールとなることが期待できる。

今後、地震火災延焼シミュレータと連携し、輻射熱等のリスクを提示しながら、安全に要援護者と逃げるイメージを高めるためのシステム開発を試みる。

5. おわりに

本研究では、地震時の火災延焼リスクを提示するシステムを汎用化し、松山消防局・松山市自主防災組織に提供し、それぞれの地域で地震火災に備えるためのルール作りに活用して頂く予定である。さらに、愛媛大学のホームページを通じて全国での活用が期待できる。しかし、地震火災から逃げるためのイメージを高めるためには、要援護者の支援も含めて、住民の避難行動とリスクを重ね合わせる必要がある。そこで、要援護者支援避難シミュレータと地震火災延焼シミュレータを連携し、輻射熱等のリスクを提示しながら、安全に要援護者と逃げるイメージを高めるためのシステム開発を試みる。今後、学校、松山消防局・自主防災会とワークショップを開催し、効果的な情報提供の在り方について、ワークショップの事前事後アンケートを実施し、効果的な活用方法について検討する必要があると考えている。

参考文献

- 1) 住宅・建築物の耐震化について
http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_fr_000043.html (国土交通省)
- 2) 「地震時等に著しく危険な密集市街地」について
http://www.mlit.go.jp/report/press/house06_hh_000102.html (国土交通省)
- 3) 二神透：連合自主防災組織を対象としたリスク・コミュニケーション形成論に関する研究，第47回土木計画学講演集，CD-ROM6頁，2013.S
- 4) 二神透：大震時火災延焼シミュレーション・システムを用いた双方向リスク・コミュニケーション第48回土木計画学講演集，CD-ROM6頁，2013
- 5) 二神透，秋月恵一，松山優貴，國方祐希：津波避難地域を対象とした要援護者支援システムの開発，土木学会論文集 F6 (安全問題)，安全問題・論文集7頁2013.

(2014.4.25 受付)