大地震時の火災延焼シミュレーション・システムを用いた地域防災力向上支援研究

二神 透¹・大本 翔平²・濱本 憲一郎³

¹正会員 愛媛大学准教授 総合情報メディアセンター (〒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: omoto.shohei.07@cee.ehime-u.ac.jp

³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: hamamoto.kenichirou.06@cee.ehime-u.ac.jp

四国においては、来るべき南海・東南海地震に備える必要がある。特に市街地では、木造密集市街地での地震火災延焼リスクが想定される。さらに、気象条件である風速が大きい場合、同時多発による延焼リスクは脅威となり、多くの人的生命の喪失に繋がると想定される。

本研究は、香川県唯一の密集市街地である、丸亀市御供所町¹⁾を対象とした地域防災力の向上に向けた、リスク・コミュニケーションについて述べる。具体的には、地域のキーパーソンと著者らが、大地震時の火災延焼シミュレーション・システムを援用しながら、自主防災組織の結成、防災訓練の実施といった、地域のPDCAサイクルによる地域防災力の向上に向けた実践研究を報告する。その過程で、著者らが開発している大地震時の火災延焼シミュレーション・システムが、支援システムとして、地域コミュニティのBCPに果たしている役割と課題について述べる。

Key Words :community disaster prevention, spreading of fire, BCP of community ,big earthquake

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、東北地方太平洋側へ未曾有の被害をもたらした。この地震では大津波が発生し、死者・行方不明者合わせて2万人を超す甚大な被害となった。津波以外にも液状化現象や地盤沈下、地震火災、地滑りなどによる被害があったが、死者・行方不明者の約9割が津波によるものであったため、地震火災の被害はほとんど取り上げられていなかった。

四国においても、今後30年以内で60%の確率で発生すると想定されている南海・東南海地震に対して、命を守るための対策を講じる必要がある²⁾。今回の震災では、津波被害が特徴的であったが、南海・東南海地震では、地域特性ごとに災害リスクは異なってくるであろう。そのために、災害時に人的被害を最小限に抑えるためには、地域ごとに災害リスクを想定し、想定外を想定内に収めることが大事である。そのうえで重要となるのが、災害のリスクを提示し、かつ、都市計画的なハード対策の効果や、避難計画などのソフト対策に有効な支援システムの存在であると考えている。支援システムを活用するこ

とで、専門家が住民（自主防災組織）と連携しながら、地域の防災力を高めていけるのではと考えている。その意味では、自主防災組織の防災意識の底上、すなわち、PDCA型の活動が鍵になるであろう。しかし、平成23年4月現在、松山における自主防災組織の結成率（結成率＝自主防災組織加入世帯数／松山市世帯数）³⁾は、99.9%と高い水準を達成しているが、組織を結成しているだけで機能していないものも多い。さらに、県内20の市町村を眺めれば、地域によっては、そもそも自主防災組織が結成されていないところも多々ある。特に、市街地中心部の、マンション等の集合住宅は、自治会と独立な管理体制を採るところが多いのも原因の一つである。一方、地域の災害危険性を認識できないが故、自主防災組織の結成が遅れている地域も多い。

本稿では、建物の位置と属性などの、地域固有の都市構造や気象条件といった外生変数を要因として与えることで、地震火災時の延焼状態が出力されるという支援システムの観点から、丸亀市城北地区のキーパーソンから依頼を受け、自主防災組織の結成と避難訓練に至るまでのプロセスを、時系列で整理し報告する。さらに、実験

計画法を用いて支援システムの要因分析を行い、都市計画的な整備効果の評価と、対象地域以外でシステムを用いる場合の要因の取得精度について述べるとともに、今後の更なる地域防災力の向上にむけた支援システムの活用について述べる。

2. 丸亀市城北地区を対象とした実践研究

(1) 丸亀市での研究実践の背景

丸亀市を対象に、大地震時の火災延焼シミュレーションを用いて、自治会役員らと自主防災組織の結成に向けた活動を行うようになったのは、著者のTVメディアへの出演がきっかけとなっている。著者の研究の一

つである、防火樹木による地震火災リスクの低減効果の放映をTVで見た丸亀市・城北コミュニティの自治会役員が、著者に講演依頼を行った。その目的は、丸亀市城北地区には、香川県で唯一の重点密集市街地が存在しているが、住民の危機意識が低く、自主防災組織が結成されていないため、講演が起爆剤になればと考えたからである。表-1に、2009年1月のTV出演の後、同年5月16日から始まった、城北コミュニティでの活動を示す⁴⁾。講演会では、阪神淡路大震災の火災状況と対策や、松山市での取り組みについての情報提供を行った。しかし、講演後に住民の方から「この地域についての情報が聞けると思っていた」との意見をいただいた。これを踏まえ、本格的に丸亀市城北地区を対象として、

表-1 丸亀市城北コミュニティにおける地域防災力支援内容

年月日	活動項目	内 容
2009.1.10.	テレビ出演	防火樹木の効果についての番組(某全国ネット) →後日、御供所自治会長から講演依頼
2009.5.16.	講演会の実施	自主防災組織の必要性・初期消火の重要性 地震火災リスク提示(阪神淡路大震災)・防火樹木の重要性 火災延焼シミュレーション(松山市の事例) →住民:現地の事例が知りたい
2009.8.10.	現地調査(1回目)	デジタルカメラと電子地図を用いての調査
	ヒアリング(丸亀市役所)	都市計画に関する情報のヒアリング
2009.11.1.	現地調査(2回目)	ビデオカメラとGPSデバイスを用いての調査
	ヒアリング(防災会長)	住民が行っている防災対策についてのヒアリング
2009.11.29.	現地調査(3回目)	デジタルカメラとGPSデバイスを用いての調査
	ヒアリング(防災会長)	住民が行っている防災対策についてのヒアリング
2009.12.17.	ワークショップ(行政)	火災延焼シミュレーションを用いた活動 危機管理課・消防管理課の方が参加した
2010.2.21	データの確認	城北地区自治会役員から建物データの誤りの指摘 → 再調査を実施することに
2010.3.14-15.	再調査	城北地区自治会役員自ら建物データを採取 →地域住民とデータを採取し、納得のいく基礎データを採取すること 都市構造データを即時修正可能なシミュレーションにすることが重要
2010.4.24.	火災延焼シミュレーションの拡張化	再調査後のデータを城北地区自治会役員に見てもらい、不備のある箇所を即時修正
	シナリオ設定	シミュレーションシナリオを設定した
2010.7.25.	講演会の実施	自主防災組織の必要性・初期消火の重要性 火災延焼シミュレーション(御供所地区の事例) 風速の違いによるリスク 都市計画的対策によるリスクの低減効果
	アンケートの実施	防災に関する意識調査・シミュレーションに対する意見の自由記述
2010.10.2.	アンケート結果の説明	レイアウトやグラフの形式が悪かったので、後日修正版を配布
	シミュレーション結果の比較動画の紹介	防火対策の有無で効果がどう変わってくるかを比較したもの 城北地区自治会役員より修正のお願い(焼失面積・経過時間の字が小さい) 修正後、8パターンの比較動画を収録したDVDを配布
2010.10.31.	会議(避難訓練)	避難訓練の重要性を説く 避難訓練の際にGPSを付けてもらうよう依頼
2010.11.27.	GPSの使い方の説明	GPSを配布する自治会を決定した(8地区)
2010.12.5.	避難訓練・防災訓練の実施(城北地区)	参加人数:345人 避難経路のGPSデータが取れていたのは4地区だった 【防災訓練内容】 担架の作り方、土のうの作り方、発電機の使い方、水消火器訓練、油消火器訓練、バケツリレー訓練、救命ボートの準備、簡易トイレ設営、非常食体験
2011.1.30.	コミュニケーションの振り返り	御供所町住民の意識が変わった(避難の障害物を除去したい要請) 第2回講演会・参加者の7割以上が御供所町 避難訓練(半分以上が御供所町住民) シミュレーション(住民が地域のリスクを知った)→意識が変わった 城北地区自治会役員と著者が一軒ずつ建物を調査→地域の意識が変わった

支援システムを活用した地域防災力向上化のための研究を行うこととした。

(2) 対象地域都市構造データの採取

著者らは、表-1に示すように、講演会終了後、自治体役員や、行政へのヒアリングを行うとともに、密集市街地の都市構造データの採取を行った。対象地域で採取した最終的なマップを図-1に示す。茶色（濃淡2種類）が、純木造、防火木造の建物である。一方、グレーの建物（○印）は、耐火建物である。図-1に示すように、地域の道路は、狭小であるため、地元の自治会長の誘導の下、デジタルカメラや電子地図、GPSデバイスなどを用いて、3度に分けた現地調査を行った。

調査データを基に、大学研究室にて城北地区御供所町周辺を再現した都市構造マップを作成した。作成したマップを城北地区自治会役員と御供所自治会長に確認していただいたところ、多くの建物の位置や属性の再現性に誤りがあるといった指摘をいただいた。御供所自治会長より、このままのデータでは、地域住民から不平・批判が出るかも知れないとの指摘を受け、会長自ら、再調査をしようと申し出てくれた、それを受けて、今後の指摘も想定し、支援システムの改良を行い、入力した建物の位置や属性を任意に変更できるよう改良を行った。この機能を付与することにより、住民の指摘をその場でシステムに反映することが可能となる。御供所自治会長、城北地区自治会役員らに、最終確認をいただいたマップが、図-1である。

その後、丸亀市城北地区において、第二回目の講演会を行った。この講演会では、採取したデータを用いて、前回の講演会では触れていなかった城北地区における災害危険性についての紹介を行った。建物が密集しているために、短時間で多数の建物が延焼してしまう恐れがあることを説明し、支援システムを使用することで、出火点の数や気象条件・対策の有無の違いにより延焼面積がどのように変わってくるのかについて提示した。なお、この講演会の参加者のうち、7割が御供所町の住民であ

図-1 御供所町周辺の都市構造マップ

った。これは、御供所自治会長が御供所町自治会所属の住民すべての家にチラシを配布したためである。

講演会後に、参加者に対してアンケートを実施した。それらの結果の一部を、図-2に示す。はじめに、支援システムを見て、少しでも火災延焼の危険性を感じた人は全体の92%おり、地域の危険性の認識を植え付けることができたといえる。次に、防火樹木の効果についての質問では、効果を知らない人が31%いることが分かった。防火樹木は火災延焼抑止には効果的なため、住民の方に認知してもらえるように説明していくことが重要だと考える。自主防災組織の有用性についての質問では、住民

【問1】 シミュレーションを見て、火災延焼に対する危険性を感じましたか？

【問2】 防火樹木の効果について知っていますか？

【問3】 自主防災組織が必要だと思いますか？

【問4】 要援護者の支援が必要だと思いますか？

図-2 講演後のアンケート結果

の94%の人が自主防災組織を必要と感じていることがわかった。講演会実施時には城北地区に自主防災組織は結成されていなかったが、この講演会后に、丸亀市城北地区に自主防災組織が結成された。これについては後述する。最後に、要援護者支援の有用性についての質問では、92%の人が要援護者の支援の必要性を感じていることが分かった。城北地区では高齢化が進んでおり、要援護者支援についてどう取り組んでいくかが、今後、住民間での大きな課題となってくるだろう。

このように、第二回目の講演会では、支援システムにより、条件ごとの火災の危険性の提示を行い、アンケートから住民の生の声を取得した。その後、支援システムによる危険性の提示を理解しやすく編集してまとめたDVDの配布とアンケート結果の報告を行った。その際に御供所自治会長より、わかりにくい個所があるといった指摘を受けたため、修正を加えたものを後日再提供した。

第二回目の講演会から1ヶ月後には自主防災組織が結成され、その4ヶ月後には第一回自主防災訓練が実施された。第一回目の訓練ということで、自治会役員に限定して参加者を募っていたが、当日は予定人数よりも100人以上多い345人が参加した。防災訓練では、応急担架の作り方や消火器の使い方等、全9項目の訓練が実施され、参加者は意欲的に訓練に臨んでいた。

その後、著者は関係者と、これまでの活動を振り返るためのワークショップを行った。その際、度重なる現地調査や講演会で地元の危険性を紹介したことで、住民の意識が変わり始め、地震火災リスクを認識し防災意識が高まったことが、自主防災組織の結成につながったのではないかと、城北地区自治会役員らより意見を得た。住民の意識の変化は、防災訓練の参加を断る人がいなかったこと、役員ではないが参加したいという声があったこと、避難路の障害物を除去してほしいという要請があったことなどから感じ取ることができる。また、このワークショップを通じて今後の課題もいくつか挙がった。今回の活動で、重点密集市街地を有する御供所町については、防災意識が向上し、地域全体で自主防災組織が結成されるという波及効果が見られたが、城北コミュニティ内には同様の密集市街地が存在しているため、今後は対象地域を変更して同じように見せたい、との要請を城北地区自治会役員より受けた。また、専門家の負担軽減の意味においても、専門家以外の人々が支援システムを活用できるよう、人材育成が必要であると考えている。これについては、若者等の新たな住民ネットワークの形成が今後の課題であるという意見を城北地区自治会役員より頂いた。

3. 今後の対策に向けた支援システム分析

(1) 都市計画的対策に向けた分析

本稿の冒頭で触れたように、著者らが開発している大地震時の火災延焼シミュレーション・システムは、浜田の延焼速度式に従い、シミュレーション実施により地震火災時の延焼状態が出力される⁹⁾。また、過去には本システムよりも荒いメッシュでのシミュレーションにより、火災の再現性が確認されている⁹⁾。都市構造や気象条件といった要因が、出力結果にどの程度の影響を与えているのかについて把握することは、今後、採取するデータの精度や、この地域の都市計画に影響を与える要因を把握する意味においても重要な視点となる。そこで、実験計画法を利用した要因の分析を試みる。

はじめに、延焼面積に影響を与える要因として、都市構造マップ(M)、風速(WV)、風向(WD)、建ぺい率(BL)の4つの要因を取り上げ、表-2に示すように、要因ごとにそれぞれ3つの水準を設ける。なお、気象条件はヒアリングから得た情報より設定した。また、都市構造マップの水準は、今後の都市計画的な対策を睨んで設定している。すなわち、都市計画道路を図-3のように想定したマップと、防火樹木の設置を図-4のように想定したマップである。なお、現状については、すでに示した図-1のマップを使用する。

今回は、シミュレーション実行の際に対象範囲外まで延焼が進むと延焼面積が正しく反映されないことを考慮し、延焼開始から120分時点での延焼面積を特性値とする。また、出火点による考慮を行うため、9通りの実験

表-2 要因と水準

要 因		水 準		
		1	2	3
M	都市構造マップ	現状	道路	道路・樹木
WV	風 速	9m/s	6m/s	3m/s
WD	風 向	北西	南東	北東
BL	建 ぺ い 率	現状値	-10%	-20%

図-3 道路設置箇所

図-4 防火樹木設置箇所

での出火点は同じ箇所とし、得られた9通りの特性値を1組とする。その後、出火点を変えて同様に9通りの実験を行う。2組の実験結果を用いて分析を行っていく。なお、特性値をすべて得るためには3⁴通り、つまり81通りの組み合わせで実験をする必要があるが、今回は実験計画法における直交表に従い、9通りの実験を行うことで特性値を得るよう、情報の効率化を図った⁷⁾。

(3) 要因分析の実施

表-3に示す結果を見てみると、風速の寄与率が77.8%と、非常に大きな値を占めた。それに続いたのは建ぺい率で、寄与率は11.5%であった。一方、寄与率が大きくなると推測していた都市構造マップについては、2.3%であり、非常に小さい値を取る結果となった。ここでは、風速の寄与率が大きくなるという結果を得たが、これは風速の水準が大きいために防火樹木が効果を発揮しなかったためであると考えられる。本来、防火樹木は火災延焼の抑止に効果的であるが、大きい風速のために風速の寄与率が高くなり、都市構造マップの寄与率が低い値になったと推測される。そこで、風速の水準を変更して、同様に実験計画法を用いた要因分析を再度行うことにした。

再分析では、風速の水準を9・6・3(m/s)から5・4・3(m/s)へと変更した。他の要因については水準の変更は行わないものとして、再分析を行う。

各要因を組み合わせた9通りのシミュレーションとその際の特性値を表-4に示す。延焼面積の最大値と最小値

表-3 寄与率一覧

要 因	寄与率 (%)	F値
都市構造マップ	2.3	9.6
風 速	77.8	289.7
風 向	6.1	23.7
建ぺい率	11.5	43.5
誤 差 項	2.3	
合 計	100	

※ F(0.01)=8.02

表-4 特性値一覧 (再分析)

	1 2 3 4				延焼面積 (㎡)	
	M	WV	WD	BL	出火点A	出火点B
1	1	1	1	1	9875.09	11179.12
2	1	2	2	2	7619.90	8602.95
3	1	3	3	3	5493.95	6468.85
4	2	1	2	3	6799.85	6247.64
5	2	2	3	1	7778.70	7632.94
6	2	3	1	2	5638.64	5749.57
7	3	1	3	2	6083.81	5508.91
8	3	2	1	3	4491.07	4334.83
9	3	3	2	1	5334.73	5004.83

表-5 寄与率一覧 (再分析)

要 因	寄与率 (%)	F値
都市構造マップ	48.8	58.4
風 速	20.2	24.8
建ぺい率	23.8	29.1
誤 差 項	7.2	
合 計	100	

※ F(0.01)=7.20

には差が出ていることから、要因の違いによる影響があるといえる。得られた数値を用いて分散分析を行ったところ、表-5に示すように寄与率を得た。なお、各要因の寄与率については、F検定で1%有意である。風向の寄与率は誤差項にプールした。

結果を見ると、都市構造マップの寄与率が48.8%と大きい値を得た。それに続いて建ぺい率と風速の寄与率がそれぞれ23.8%、20.2%という値となった。再分析では風速の水準を変更したため、風速の寄与率が下がり、都市構造マップの寄与率が上昇すると推測していたが、その通りの結果が得られた。

また、要因の効果図を描くと、図-5のようになった。都市構造マップの効果図を見ると、現状のマップ (M1) →道路設置のマップ (M2) →道路設置+防火樹木配置のマップ (M3) の順で、延焼面積が小さくなっている。M2とM3で値が違う点から、防火樹木設置による火災延焼抑止効果があることがわかる。防火樹木の効果を無視するほどの強い風でなかったために、このような形状の効果図になったと推測する。

風速の効果図を見ると、水準変更前と同様に、風速が小さくなるにつれて延焼面積が小さくなるということがわかる。グラフの形状は上に凸なグラフであることから、風速が小さくなると延焼面積は小さくなる。しかしその影響は徐々に大きくなるといえる。

建ぺい率の効果図については、数値が小さくなるにつれて延焼面積が小さくなっている。グラフの形状は下に凸であることから、数値が小さくなるにつれて延焼面積

※ 図中水平線は延焼面積平均値 6658㎡

※ 上下矢印は信頼限界 ±443.30㎡

図-5 要因の効果図 (再分析)

の減少効果が小さくなることが分かる。

風速の値の変更前後での2つの分析を比較してみると、影響度を示す寄与率に大きく違いが出た。風速が6m/s以上となると、風速の寄与率が非常に高くなり、都市構造マップや建ぺい率の寄与率は極端に低くなる。風速が大きくなると、都市計画的な対策による火災延焼抑止効果は現れず、風速の大きさに比例して延焼面積が大きくなるといえる。一方、風速が5m/s以下の場合には、都市構造マップや建ぺい率の寄与率が高くなっており、都市計画的な対策を行うことで、火災延焼面積を低減させる効果があることが分かった。

4. まとめ

本稿では、丸亀市城北地区を対象に行ってきた活動内容を紹介した。著者らと城北コミュニティの自治会役員、城北地区自治会役員・御供所自治会長が活動を行っていき、住民の意識が変動する様子が見られた。講演会後1ヶ月で自主防災組織が結成されたこと、積極的な防災訓練への参加にも、その影響が表れている。今回は御供所町周辺を対象としたシミュレーションを提示したために、主に御供所町住民の意識が変動し、地域全体の自主防災組織の結成に繋がった。このようにPDCA型の活動を行い、自主防災組織の結成という結果にたどり着いたが、結成された組織を継続していくためには、地区全体の防災意識の向上や、支援システムを使える人材の育成が必須となる。新たに生まれたこれらの課題に対応するためには、継続的にPDCA型の活動を実施していくことが望ましいと言えよう。城北地区自治会役員からの要請にあったように、対象地域を変えて地震火災のリスク提示を行うことは、今後のPDCA型の活動のひとつとして考えられる。

また、丸亀市城北地区を対象とした火災延焼の要因分析では、風速が5m/sより小さい場合は、都市計画的な対策を行うと延焼面積が少なくなることが分かった。一方、風速が5m/sより大きい場合は、都市計画的な対策が効果

を発揮せず、風速の影響が大きくなることが分かった。このように、城北地区においては、風速が地震火災被害の程度に影響を与えるうえでのポイントとなる。今後城北地区において何らかの都市計画的な対策を実施する際には、風速の影響を考慮する必要があると考える。しかし、今回の分析では適用した要因数は少なく、要因間の交互作用を見ることができないといった問題がある。今後、より詳しい分析を行う際には、分析に適用する要因数を増やし、要因の組み合わせのパターンを多くすることで、要因間の交互作用も考慮した、より信頼できる影響度の把握ができると考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ「地震時等において大規模な火災の可能性があり重点的に改善すべき密集市街地」について
(http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/07/070711_.html)
- 2) 地震調査研究推進本部ホームページ「海溝型地震の長期評価の概要」
(<http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/kaikou.htm>)
- 3) 松山市ホームページ「自主防災組織の結成経過状況」
(<http://www.city.matsuyama.chime.jp/ICSFiles/afiedfile/2011/06/20/kesseijyoukyou.pdf>)
- 4) 二神 透, 木俣 昇, 濱本憲一郎: 密集市街地におけるリスクコミュニケーションの展開研究, 第4回土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), 4頁, 2010.
- 5) 二神 透, 木俣 昇: 住民参加のための大震時火災延焼シミュレーション・システム開発, 土木情報利用技術論文集17 pp.39~46, 2008.
- 6) 木俣 昇: 大震時避難計画のためのメッシュ型火災延焼シミュレーション・システムに関する検証, Journal of the Operations Research Society of Japan 30(1), 59-87, 1987
- 7) 田口玄一: 実験計画法 上下, 丸善株式会社, 1976.

(2011.7.22 受付)

IMPROVEMENT SUPPORT RESEARCH OF LOCAL DISASTER PREVENTION POWER USING THE FIRE SPREADING SIMULATION SYSTEM IN CASE OF A BIG EARTHQUAKE

Toru FUTAGAMI, Shohei OMOTO and Kenichirou HAMAMOTO

This research describes the risk communication towards improvement in the local disaster prevention power for Gobusho town in Marugame city which is only a high density city area in Kagawa Pref. Specifically, the key persons and authors of the area report the practice research towards improvement in the local disaster prevention power by the PDCA cycle of the area, such as formation of local voluntary disaster management organizations and implementation of an emergency drill, applying the fire spreading simulation system in case of a big earthquake. The fire spreading simulation system in case of the big earthquake which authors are developing describes the role and subject which have been achieved to BCP of the local community as a support system.