

# 持続可能な地域防災力向上における 支援システムの信頼性向上に関する研究

二神 透<sup>1</sup>・國方 祐希<sup>2</sup>・今西 桃子<sup>3</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>学生会員 愛媛大学大学院 理工学研究科 (〒790-8577 松山市文京町3 番地)

E-mail:kunikata.yuki.10@cee.ehime-u.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 愛媛大学 環境建設工学科 (〒790-8577 松山市文京町3 番地)

E-mail:imanishi.momoko.11@cee.ehime-u.ac.jp

著者らは、大震時における火災延焼シミュレーション・システムを開発し、住民とリスク・コミュニケーションを行っている。現在、松山市の連合自主防災会を中心にシステムを配布し、自主防災会の活動のためのツールとして利用いただいている。また、システムを用いて、著者等（専門家）と住民あるいは行政とのリスク・コミュニケーションを実践している。それらの過程で、行政、あるいは、住民から、システムに対する批判あるいは要望を頂いている。本研究では、行政から頂いたシステムに対する要望に対する改善と評価、ならびに、連合自主防災会長から頂いたシステムの再現性に関する疑義に対して、実火災（酒田大火、福光大火）による検証を行い、システムの改善ならびに再現性について検証を行うとともに、システムの公開と更なる利活用について展望を述べる。

**Key Words :** *Nankai earthquake, fire spreading simulation, risk communication, verification of system*

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、津波による犠牲者が約19,000人と全体の犠牲者数の多数を占めた。その一方で、強い地震によって284件の地震火災の発生が確認されている。<sup>1)</sup>特に、岩手県山田町においては、プロパンガスへ引火し、その炎が駐車してあった車へと炎上しながら多くの建物へと燃え広がっていった。その焼失面積は約16haにもなった。震災当日の気象条件である風速は被災地全域で約3m/sの弱風であった。また、1995年1月17日に発生した阪神大震災の際も風速が3m/s程度でありながら甚大な地震火災の被害を出した。

以上のことから言えることは、大きな揺れを伴う地震が発生した場合、多くの建物から火災が発生し、それらへの対応と気象条件である風向・風速によっては、大きな人的・物的被害に繋がるということ想定し、対策を行うことの必然性が問われよう。四国においては、今後30年以内の発生確率が70%と言われている南海地震、あるいは、南海トラフ巨大地震に備える必要がある。特に、木造市街地の密集する地域においては、地震火災の発生を想定した対策が喫緊の課題となる。

著者等は、大震時の地震火災延焼シミュレーション・システムを開発し、住民とのリスク・コミュニケーションを実施し、住民の防災意識の向上化と地

域防災力の向上に向けた実践研究を行っている。現在、松山市の連合自主防災会を中心にシステムの配布を行い、自主防災会の活動のためのツールとして活用していただいている。

また、本シミュレータは今年の2月から愛媛大学の協力のもと、ホームページ上からダウンロードすることができ、一般家庭においても使用していただける状態となっている。システムを利用していただく過程で著者等（専門家）と住民または行政との間でリスク・コミュニケーションを実践している。その方法は、実際に著者等が現地に赴き、リスク・コミュニケーションを行うか、または、メールをいただいで、そのメールに対して返答を行うものである。その過程において、行政、あるいは住民の方からシステムに対する批判・要望をいただいでおり、その都度、システムの改良を行ってきた。その中で、各自主防災会を対象にシミュレーションを活用し、地域の火災延焼リスクを住民に提示している松山市粟井連合自主防災会中西会長から住民からの質問として、シミュレーション・システムの信頼性や、延焼結果に対する疑義等の意見を頂いた。

そこで、本研究では1976年10月29日に発生した山形県酒田大火と、1979年4月11日に発生した富山県福光大火の二つの大火の実火災データをもとに、浜田の延焼速度式をメッシュ・モデルとして採用しているシステムの再現性について検証するとともに、

本シミュレータを公開するにあたり、更なる利活用についての展望を述べるものとする。

## 2. 住民からのリスク・コミュニケーションによるシステム整合性

### (1) 住民によるシステムへの疑義について

著者等は香川県丸亀市城北コミュニティ、愛媛県松山市対象に開発したシステムを用いて、自主防災会単位の都市構造データと大震時火災延焼シミュレーション・システムを提供している。そもそも、この松山市におけるリスク・コミュニケーションは専門家が現地へ赴き、そこでワークショップを行うというスタイルから始まっている。著者等は、従来、事前準備として、手作業で地域のデータを採取し、その後ワークショップに臨んでいたため、その事前準備に多大な時間を要していた。しかし、先に述べたように、システムの改良により、国土空間データよりシミュレーション用のデータを瞬時に採取できるようになったため、ワークショップの対象となる自主防災組織・行政組織が広がっている。現在、久枝・粟井・西垣生・立花といった松山市を中心とした4つの自主防災組織と連携して行っている。行政では、四国地方整備局、丸亀市役所、松山消防局と連携している。

その中でも、積極的にシミュレーションを活用していただいているのが、松山市粟井の連合自主防災会長の中西氏である。中西氏は、粟井の自主防災組織を対象にして、地域の火災延焼の危険性をシミュレーションにより提示し、住民の防災意識を高めたいとの思いで活動を行っている。そして、光洋台の自主防災会でシミュレーションを行った結果、住民より以下の点を指摘されたとの報告を頂いた。

- a) 延焼するはずの地域が延焼していない
- b) シミュレーションの信頼性はどの程度か
- c) どのようなモデルを用いているのか

中西氏は、直接話を聞きたいと、後日研究室を訪ねてくださった。

図-1は、中西氏から事前にメールでいただいた疑義に関する資料の一部である。図-1の画面中央下側を出火点とし、風向を画面右下から左上への南東の風、風速は6m/sといった強い風を設定しているにもかかわらず、画面中央左の一角が延焼しないことに対して、シミュレーションを見た住民から上述した疑問が出たとのことであった。

まず、a)については、図-1の画面左下の建物群への延焼が行われないことを再度確認したが、理由については再度確認して報告することとした。b)、c)については、以降に述べる酒田大火での検証によるメッシュサイズと実火災の再現性を説明することで理解いただいた。

### (2) 空間データ処理の改良について

著者等は、中西氏の疑問、a)延焼するはずの建物が延焼していないについて、システムデータのチェ



図-1 光洋台の延焼結果に関する疑義（中西氏提供）



図-2 変換データのメッシュ表示



図-3 対象地域の国土空間データ

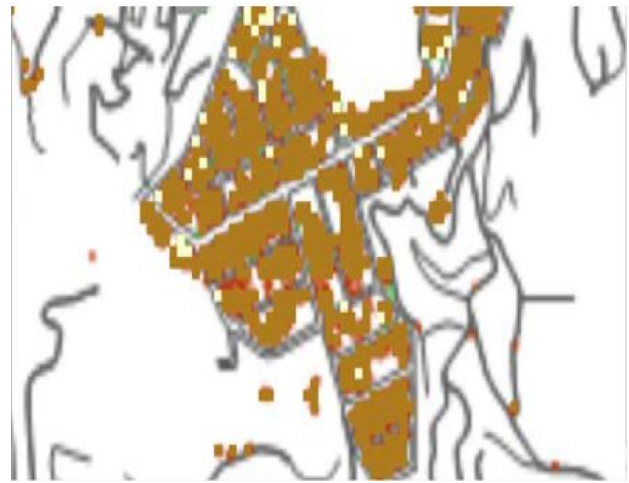


図-4 プログラム修正後の変換データメッシュ表示

ックを行った。図-2は、国土空間データをメッシュ分割し、メッシュの属性（可燃木造：茶色、不燃耐火造：クリーム色、オープンスペース：白）を表示している。この図より、図-3の対象地域の国土空間データと比較すると、一見、木造建物が密集しているデータにも関わらず、図-2では、不燃耐火造のメッシュに変換されている。この原因は、図-3の国土空間データで淡い緑色で表示されている普通無壁舎（カーポート）を耐火建物として処理しているためであると判明した。そこで、普通無壁舎を木造建造物として取り扱い、図-4のようにデータを再取得した結果、延焼しなかった街区の延焼を確認することができた。これらの結果を、中西氏に報告した結果、住民にも再度説明会を開くとの返答をいただいた。

以上のように、行政・住民へシミュレーションを提示・提供することによってシミュレーションに対する要望、疑問点等を情報提供いただき、システムの改良・修正へと繋がっている。これらの双方向のリスク・コミュニケーションによって、シミュレーションシステムを介することで、専門家・行政・住民との行動者役割、提唱者役割の役割交換が行われている。今後も行政・住民と連携を取りながら双方向リスク・コミュニケーションを継続し、システムの改良、専門家としての役割期待を果たしていきたいと考えている。

### 3. 大震時火災延焼シミュレーション・システムの検証

#### (1) 検証するに至った経緯

2節で述べたが、松山市粟井の連合自主防災会会長である中西氏から住民からの疑義として挙げられた3つのうち、

b)シミュレーションの信頼性はどの程度か

c)どのようなモデルを用いているのか

の2つの指摘から、今回、大震時火災延焼シミュレーションの再現性について検証することとなった。

そして、その再現性の基準として今回、1976年10月29日に発生した酒田大火と、1979年4月11日に発生した福光大火の二つの大火の実火災データをもとに、システムの再現性について検証する。これまで酒田大火を用いた検証はされてきたが、福光大火を用いた検証はされたことがなかった。検証に用いる対象を増やし、シミュレーションの信頼性の向上に繋げる。

#### (2) 酒田大火・福光大火とシステムの検証

酒田大火の概要<sup>2)~4)</sup>であるが、1957年10月29日午後5時40分頃出火し、翌日の10月30日午前5時頃に鎮火するまでの約12時間燃え続けた大火事である。被害概要は焼失区域22.5ha、死者1名、負傷者1,003名、焼失家屋1,774棟であった。

次に福光大火<sup>5)</sup>の概要であるが、1979年4月11日午後3時47分頃出火し、同日午後9時05分頃に鎮火するまでの約5時間燃え続けた大火である。被害概要は焼失区域1.4ha、焼失建物116棟、242名が被災した。酒田大火と違い福光大火では消防力が働いたため、延焼面積を抑えられていると考える。今回、そのことも考慮し、検証を行った。

本シミュレーション・システムは、浜田の延焼速度式を基礎に置いている。浜田の延焼速度式を木俣のメッシュ・モデルで置き換え、メッシュごとのパラメータを用いて延焼計算を行っている。そのためには、市街地を正方メッシュで分割する必要がある。メッシュのサイズと延焼速度・延焼面積の関係については、木俣<sup>6)</sup>が酒田大火を対象に行っているが、建物データの入力をドット・カウンター法という精度の低い方法で行っていることと、当時のコンピューターの性能の制約より、50m、30mと大きなサイズで検証を行っている。そこで、今回、酒田・福光ともに当時の街並みのデータを入手し、一軒一軒入力することで、当時の街並みのポリゴンデータを作成する。そのために、酒田の検証においては、酒田市

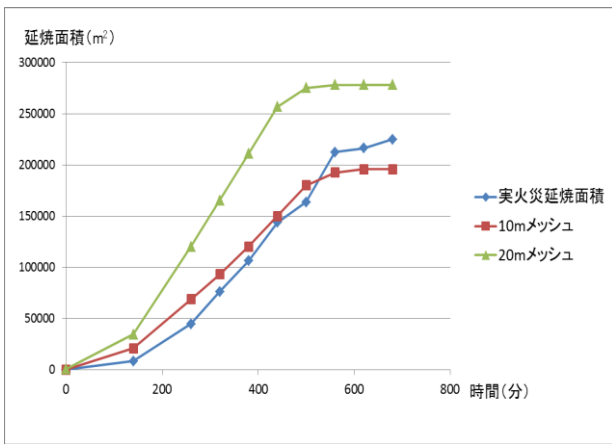


図-5 メッシュサイズと焼失面積 (酒田)

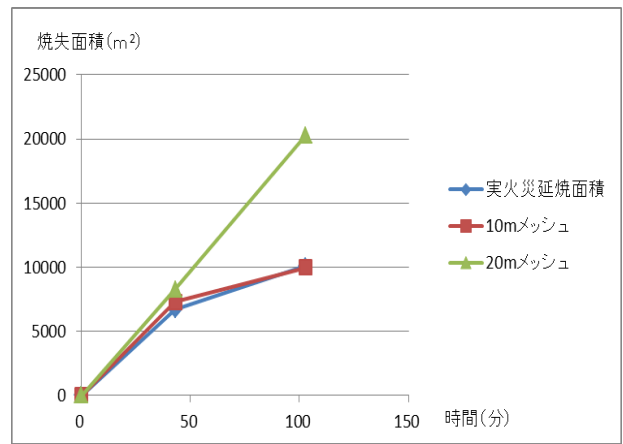


図-6 メッシュサイズと焼失面積 (福光)

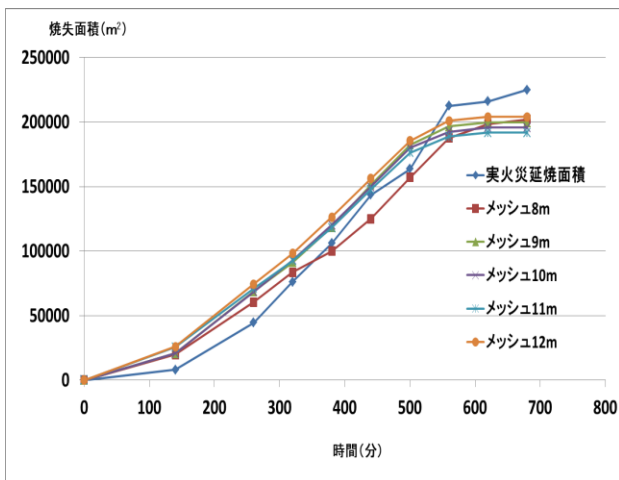


図-7 メッシュサイズ(8~12m)と焼失面積 (酒田)

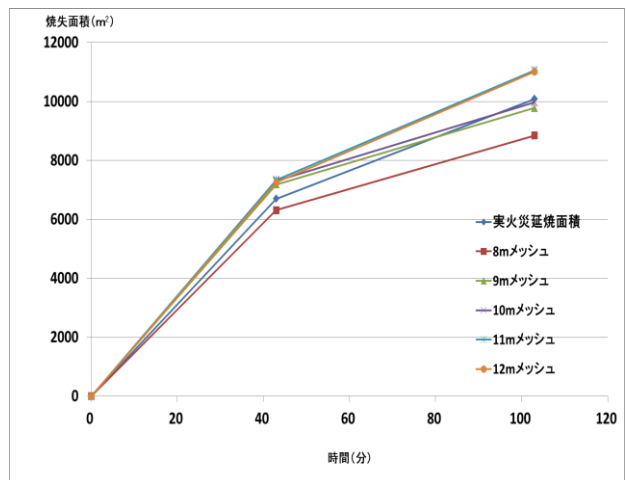


図-8 メッシュサイズ(8~12m)と焼失面積 (福光)

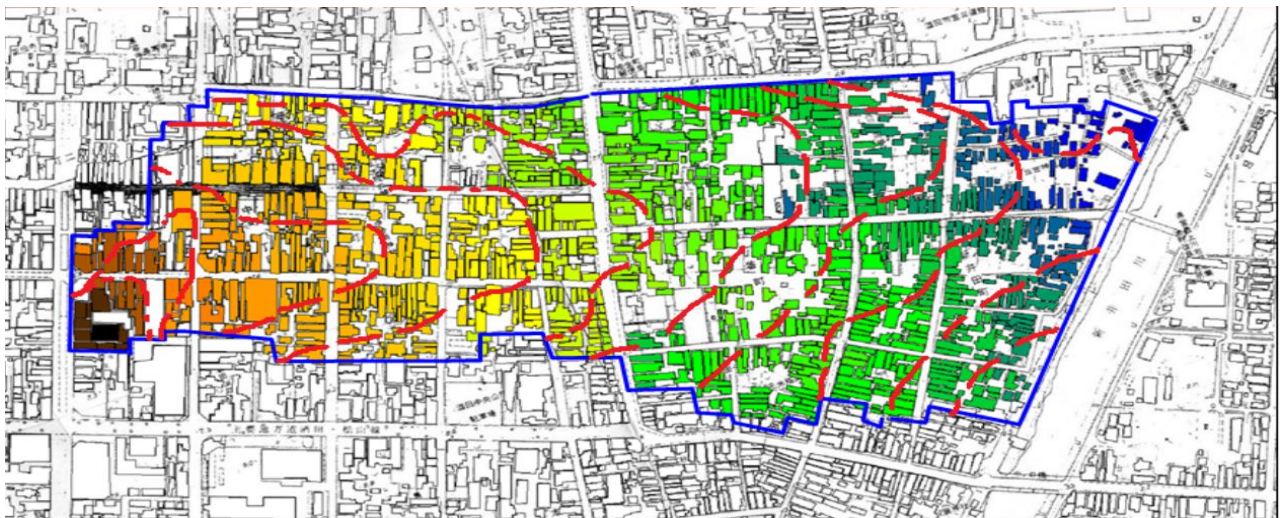


図-9 焼失形態の比較 (酒田)



図-10 実火災の延焼面（出火 86 分後）



図-11 シミュレーション結果（出火 86 分後）

都市計画課にお願いし、当時の都市計画図を提供していただき、一軒一軒の建物を入力し、建物属性を与えポリゴンデータを作成した。

次に、メッシュサイズを変更しながら、実火災の延焼面積と比較し、最適なメッシュサイズを検討する。最初に、10m、20m メッシュと実火災の焼失面積を時系列で酒田・福光ともに比較した。その結果を図-5、図-6 に示す。図より、どちらも 20m メッシュでは実火災と大きく乖離し、過大評価となることが分かる。一方、10m メッシュは実火災とほぼ一致することが分かる。このことは、浜田の式では一軒一軒の均一な木造建物が立ち並んだ建物間の延焼を実験データに基づきモデル化したものであるため、実際の家屋長にメッシュサイズが現象の再現性をより表していると考えられる。そこで、10m 近傍のメッシュサイズを用いて同様の実験を行った。それらの結果を、図-7、図-8 に示す。図より、青の実火災に対して、どのメッシュも大きな乖離は見られないため、切の良い 10m を本システムのメッシュサイズとして採用することとした。また、酒田大火の延焼形態についても、図-9 に示すように、1 時間毎の同時延焼曲線とほぼ一致していることが明らかになった。福光の延焼形態は二つの時刻のデータしかないため当時延焼曲線での比較ではなく、火災発生後約 2 時間が経過した午後 5 時 30 分の実火災延焼範囲で比較する。図-10 が実火災の延焼範囲を示したもので、図-11 はシミュレーション結果を示してある。グラフで見た場合、最終的な延焼面積に

それほど差は見られないが、①の部分のように実際には延焼していない部分が延焼している箇所や、②のように実際に延焼している部分が延焼していないなどシミュレーション上で過大評価、過小評価している箇所があることが分かる。

以上より、酒田・福光の両大火の当時の都市構造データを採取し、著者等のシステムでメッシュサイズを変化させながら延焼面積・延焼形態を時系列で確認した結果、10m前後でのメッシュサイズが良好な再現性を表すことが明らかとなった。

#### 4. おわりに

##### (1) 本研究のまとめ

本論文では、著者等の大震時火災延焼シミュレーションの提示・提供することによって、住民・行政から様々な意見・質問を頂いている。従来、専門家がシミュレーションを提示し、地域の危険性や災害時における行動を提示するリスク・コミュニケーションは多く行われている。著者等は、シミュレーションに付与すべき条件、疑問点を頂き、それらをシミュレーションに組み込む、あるいは疑問点に答える形でリスクコミュニケーションを行っている。

本研究の成果として、従来、専門家が現地調査を行い、シミュレーションに必要なデータを採取していたが、国土空間データを用いることであらゆる地域でシミュレーションが可能となった。そのことで、多くの行政・住民とリスク・コミュニケーションを

行える点にある。その過程で、システムに付与すべき要件の事案を頂き、さらに、シミュレーション結果に対する疑義を住民の方から頂いた。付与すべき要件に関しては家屋の発火時間をグラデーションで表示するとともに、発火時間を文字情報を表示する機能をシステムに追加した。これらの結果、アンケートを通して、住民の避難行動意識が高まる効果が得られたことを確認している<sup>7)</sup>。住民の疑義、

- a) 延焼するはずの地域が延焼していない
- b) シミュレーションの信頼性はどの程度か
- c) どのようなモデルを用いているのか

の3点に対しては、まず、a)に関しては、著者等のデータ処理の不備であったことが明らかになり、システムを修正することで対応できた。b)、c)に関しては酒田大火を用いたシステムの再現性の検証によって10mメッシュを用いることでほぼ再現性が実現できたと住民に説明がついた。また、ポリゴンデータをメッシュ化し、建蔽率、木造建物混成率、耐火建物混成率をパラメータとして延焼速度を計算していることを説明し、納得していただいた。また、今回、システムの再現性の検証において対象を一つだけでなく、二つにすることでシステムの信頼性を向上させるため、福光大火を対象としても検証を行った。その結果、本シミュレーションは酒田大火だけでなく、福光大火においても10mメッシュを用いることでほぼ再現性があると検証することができた。このことから、本シミュレーション・システムにおける火災の正確性が高いと証明できた。

以上より、行政・住民とのリスク・コミュニケーションより、システムに付与すべき条件、専門家として今後のリスク・コミュニケーションを行う上での知見を頂いた。今後は、国土空間データから採取した建物データをチェックと修正を行いながら、住民自らがデータを更新し、継続的にシステムを活用して頂くためのワークショップの開催を考えている。

## (2) 今後の展望

今後、行政・住民とのリスク・コミュニケーションを行うにあたり、本シミュレーションを用いてCAUSEモデルの適用を考えている。CAUSEモデルとは、Rowan<sup>8)</sup>が提案するリスク・コミュニケーションの1手法であり、リスク・コミュニケーション醸成のためには、①関係者間の信頼確立 (Credibility)、②リスクへの気付き (Awareness)、③リスクに関する理解 (Understanding)、④解決策の理解

(Solution)、⑤対処行動の実行 (Enactment) の5段階を経るというものである。著者等は講演会等を積極的に行い、行政・住民との信頼性を確立してきた。その信頼性があると仮定した上で今後以下に示すようにワークショップを開催していこうと考えている。まず、CAUSEモデルの②リスクへの気付き

(Awareness)、③リスクに関する理解 (Understanding) を大震時火災延焼シミュレーション・システムを用いることで提示していき、住民に解決策の熟考を行ってもらおう。その後専門家が加

わりその解決策に対してさらに協議していく。そして、最後に行政・住民が解決策を実行に移していき、問題があればまた②、③に戻り協議していく。このように、一回のワークショップを開催し、その後、行政・住民が時には専門家も交えて協議を繰り返すといったサイクルを実行していくことで地域防災力の向上が見られるのではないかと考えている。そのためには、システムの再現性・正確性が重要となってくるが、今回、その問題に関してはクリアしているものと考えている。

また、2月にシステムの提供をホームページ上で開始したが、講演会等でこのことについて聞いた方や、自治防災会等で使用するためにダウンロードしたという方がほとんどであるというのが現状である。一般家庭に普及させていくことで地域防災力の底上げが期待できるが、今の状況ではそれも難しい。そこで、自治防災会等と協力していきながら、講演会や、自治防災会の集まりに積極的に参加してもらってシステムに興味を持ってもらい、利用を促進できるのではないかと考えている。また、今後、ホームページ上で今回行った酒田大火と福光大火の検証結果を載せ、システムの再現性を理解してもらい、住民のシステムに対する疑義を一つでも減らしていく。さらに、行政や自治防災会等における講演会などでも、従来通りシステムの提供を行っていき、その際に再現性の検証結果も同時に提供しようと考えている。

## 参考文献

- 1) 消防庁災害対策本部 (平成24年度3月13日発表) 平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) について (第145報)  
([http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000109170.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000109170.pdf))
- 2) 自治省消防庁消防研究所: 酒田大火の延焼状況等に関する調査報告書, 1977.
- 3) 酒田市: 酒田市大火の記録と復興への道, 1978.
- 4) 酒田市建設部: 酒田市大火 復興建設のあゆみ, 1979.
- 5) 福光町: 福光大火誌, 1980.
- 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), pp. 59-87, 1987.
- 7) 二神透, 大本翔平: 連合自主防災組織を対象とした地震火災リスク・コミュニケーションに関する研究, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), NO.166, 2012
- 8) Rowan, K.E: Why rules for risk communication are not enough - A problem-solving approach to risk communication, Risk Analysis, 14, pp. 365-384, 1994.