

地区防災計画のための避難場所安全評価 システムの開発と適用研究

國方 祐希¹・二神 透²

¹学生員 愛媛大学大学院理工学研究科 環境建設工学専攻 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番地)

E-mail: kunikata.yuki.10@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 愛媛県松山市文京町3番地)

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

木造密集市街地では、地震火災対策が喫緊の課題となっているが、どのように危険でどのような対策が目に見える形で有効なのかがイメージし難いため、ソフト、ハードの両側面の対策が遅れている。

そこで、地震火災の延焼リスクのみならず、避難場所の火災熱リスク分析システムならびに、防火樹木の効果を組み込んだシミュレーション・システムを開発する。そして、開発したシステムを、地区防災計画における減災計画に位置付け、神奈川県茅ヶ崎市と愛媛県松山市の立花地区を対象に、既存の避難場所の安全性について検討するとともに防火樹木による避難場所の安全性の確保について報告する。

Key Words : *district disaster management plan, earthquake, fire heat risk, application study*

1. はじめに

明治以降100人以上の犠牲者を出した地震津波災害に着目すると、1948年の福井地震まで、15の地震が発生している。すなわち、平均5年に一度の頻度で発生していることになる。近年では、1995年の阪神淡路大震災より、日本は地震の活動期に入り、2011年の日本大震災発生から、本格的な活動期に入ったと言われている。

今後、30年以内の70%の確率で、都市直下地震、南海地震が発生すると想定されており、さらには、それ以外の大規模な地震が、いつどこで起きても不思議ではない。従って、沿岸部では津波対策、都市部では地震火災対策が喫緊の課題となっている。津波災害から命を守るためには、いかに速く津波が来る前に高台に避難できるのかを目的とした研究が行われている^{1),2)}。一方、地震火災については、地域でどのような延焼被害や人的被害が発生するかといった定量的分析³⁾や、研究者による地震火災延焼シミュレーター開発の研究⁴⁾に留まっている。それらの研究に対して、糸井川は、火災延焼シミュレータをまちづくりのための核となる情報システム⁴⁾としての役割を期待している。

著者等は、関東大震災、阪神淡路大震災で発生した地震火災に備えるためには、事前復興のためのまちづくりといったハード対策と、地震火災に対して安全な避難場所を確保することが欠かせないと考えている。そのためには、都市計画的なまちづくりの

評価と、安全な避難場所の評価システムと住民・行政による熟議による防災計画が必要であると考えている。そのためのシステムとして、著者等は、既往の研究^{5),6)}を用いて地震火災熱リスク分析システムをシミュレータに内包した。

本システムの特徴は、国土地理院の国土空間データを用いて、任意の地域の地震火災の延焼状況を、風向、風速、出火点をパラメーターとして再現できる点である。また、シミュレータ上で、沿道の耐火や、道路幅員の拡張化、防火樹木の防火効果をダイナミックに再現できる点にある。防火樹木の延焼阻害効果は、関東大震災・阪神淡路大震災においても、火災が公園緑地で焼け止まる延焼遮断帯としての効果が大きいことが示されている⁷⁾。

また、関東大震災では公園緑地等に東京市民の7割以上が避難して助かっている。阪神淡路大震災では、9市3町の719公園が被害を受けたが、公園全体が使用不能になったものはわずか6か所に過ぎず、他の都市施設に比較して被害は軽微であり、人々が発災直後に逃げ込む避難場所としての役割を大いに発揮した⁸⁾。そこで防火樹木の熱遮蔽効果と、延焼領域からの輻射熱量算定システムを組み込み、人体の耐輻射受熱量以上の領域を表示する機能を組み込んだ。従って、多くの自治体で指定されている公園や、学校の校庭などの避難場所の地震火災の安全性を定量的に把握することができるとともに防火樹木整備効果も定量的に把握できる。よって、樹木で覆われた公園の安全性評価や、防災樹木を整備するこ

とによる避難場所の安全性評価をダイナミックに提示可能となった。

本論文では、はじめに、開発したシステムの概要を述べるとともに、神奈川県茅ヶ崎市の広域避難場所の安全性評価を行い、その後松山市の密集市街地を対象に、既存避難場所の火災熱リスク分析を用いた安全性を評価する。つぎに、防火樹木の整備による安全性の再評価を行い、本システムを全国の密集市街地で活用していただくための課題を整理する。

2. 避難場所安全評価システムの開発

開発システムの全体フローを図-1に示す。図中上側は、対象地域の都市構造データである、建物ポリゴンデータ（個々の建物の端点緯度経度情報、建物属性情報）、シミュレーションの背景画像となる道路データを国土院の国土空間データから読み込む必要がある。このためのシステムが図中のデータ作成用ソフトである。国土空間データは、市町村単位で読み込むため、マウスで拡大縮小しながら対象地域を選択し決定ボタンを押すと、基本都市構造データが自動作成される。このデータは、緯度経度座標データを、パソコンのピクセルデータ座標に変換し、延焼計算に必要なパラメータである、木造建物混成比、耐火建物混成比、建ぺい率を自動生成する。しかし、国土空間データは、必ずしも最新のデータでないため、建物が新築されていたり、更地化されていたりするので、データ作成ソフトを用いて現状の都市構造へと修正をする必要がある。また、ツバキやサンゴジュ、シイ類の防火樹木が植生していれば、データ作成ソフトを用いて追加する。

以上のデータを用いて、大震時火災延焼シミュレーション・システムを用いて、外生要因である出火点、風向、風速を入力すれば、当該地域の地震火災の延焼状況をダイナミックに再現することができる。システムのアウトプットより得られる情報は、対象地域の延焼状況・延焼範囲、不燃化や道路拡幅による都市計画による防火効果や、既存防火樹木による防火効果である。

上述したように、著者等は、大震時火災延焼シミュレーション・システムを核として減災計画^{9),10)}に活用したいと考えている。現在、松山市の全ての連合自主防災会の各地域のデータとシミュレーション・システムを提供している。また、管轄である各消防署にもシミュレーション・システムをパソコンにインストールしている。著者等は、2014年に、自主防災組織、消防署職員を対象としたシミュレーション説明会も実施している¹¹⁾。それらの減災計画への考え方は、専門家がシミュレーション・システムを核として、人間の足し算として、住民に対しては、視聴・操作することにより共助・自助の向上を期待し、行政に対しても、提示・操作することによって公助を期待するものである。シミュレーション・システムを、住民にとっては、防災教育・意識啓発として、行政にとっては、都市計画策定や、消防戦略

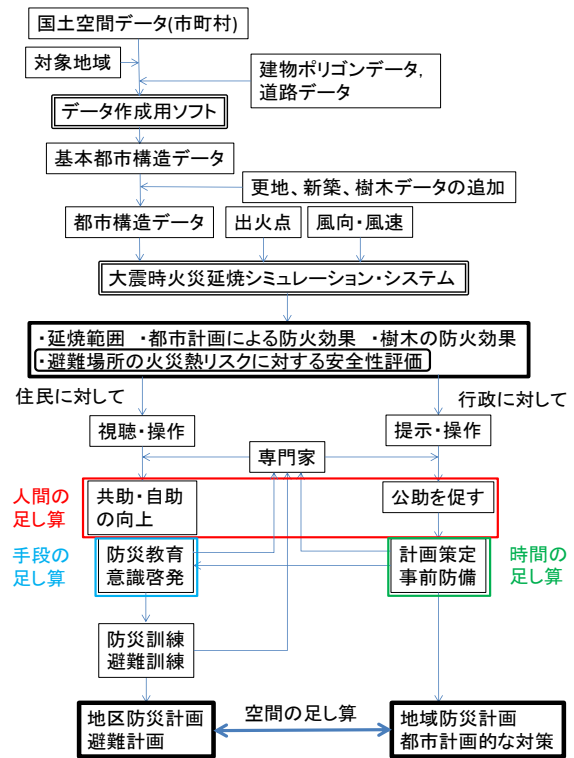


図-1 開発システムの全体フローと減災計画

などの事前防備として活用が期待できる。そして、行政の空間の足し算としてタイムラインの事前防備が期待される。

2015年1月と2月に、松山市危機管理と消防局が自主防災会役員、消防団、自治会役員を対象に地区防災計画の説明会を行っている。松山市では、逐次、空間の足し算として、各連合自主防災会と連携し、地区防災計画策定の支援を行う予定である。本システムは、地震火災熱リスクによる避難場所の安全性評価が可能のため、密集市街地での地区防災計画に有効であると考えている。

3. 神奈川県茅ヶ崎市への適用研究

(1) 対象地域概要

神奈川県茅ヶ崎市は神奈川県南部に位置し南は相模湾に面している地域である。また、神奈川県の被害想定¹²⁾では地震による延焼で18,000件以上の家屋が焼失するとされている。茅ヶ崎市内で特に地震火災の危険性の高い地域がJR東海道線以南の地域である。この地域では住民120,000人に対して110,000人を収容できるだけの避難所が存在し、その内の78,000人を茅ヶ崎市ゴルフクラブで収容することとなっている。このゴルフ場は周りを松林に囲まれているが、高い借地料のために運営会社が閉鎖を決めたために再開される可能性がある。その場合、今の松林を失うこととなるため、その松林と住民の命を保護する避難所を守ろうと、住民が立ち上がっている地域である。

(2) シミュレーション結果

茅ヶ崎市の広域避難場所のシミュレーションを作成するにあたり、「広域避難場所を守る会」のY氏に協力をいただき、緑地帯の高さ、幅についての情報を教えていただき入力した。計算条件は、風向を北に固定し、風速は茅ヶ崎市の平均風速である6m/sと平成27年1月の最大風速である9m/sを用いて計算を行う。

緑地帯がある場合で風速6m/sの時のシミュレーション結果を図-2に示す。また、各風速ごとに樹木の有無による避難場所の使用できる面積の割合を図-3に示す。シミュレーション結果より、風速6m/sの場合、緑地帯のある場合、今現在の面積の約9割を使用できるのに対し、緑地帯の無い場合では約8割が使用可能という結果となり、風速9m/sの場合、使用できる面積が8割を切ってしまうという結果となった。これより、樹木の存在が輻射熱を遮断し、避難場所内への進入を防いでいることがわかるが、風速が強くなると輻射熱の及ぼす範囲が広がることわかる。

4. 松山市立花地区への適用研究

(1) 立花地区の概要と想定されるリスク

前述したように、松山市では連合自主防災会単位の地区防災計画の推進を行っている。南海トラフ巨大地震は発生すれば、市内の多くの地域が震度6強の揺れとなり、松山市では、8,037棟が全壊、18,375棟が半壊し、58件の出火が発生すると想定されている。そのうち消火できない31件が残出出火となり、風速4.9m/sの西風で、25,112棟、1135.16haが焼失すると想定されている。松山市の立花地区は、市内の中でも非戦災地域であり、古い建物や、車の離合が困難な細街路が多数存在する。立花5丁目地区では、著者等によって、2013年に大震時の火災延焼シミュレーション・システムを用いた防災講演会を行っている。講演会では、地震火災の延焼リスクを提示し、特に、風速が大きい場合の避難について考えて頂いた。

本章では、立花地区を対象として、地区防災計画を作成するに当たり、地震の火災の延焼リスクと共に指定されている避難場所の火災熱による安全性について検討を行う。

はじめに、2.で述べたシステムを用いて今回、松山市立花地区を対象地域として火災の延焼リスクと避難場所の安全性の評価を行う。立花地区は松山市の中心部の南側、石手川以南に位置し、図-4に示すように木造建物の密集する地域であり、地震時に火災の発生が懸念されている地域である。また、図に示している地域における市の一時避難場所に指定されている場所は中村公園である。しかし、周りが木造建物に囲まれていることから火災が発生した場合、周りを火に囲まれ避難場所としての機能を果たせない可能性が高い。そこで、中村公園の代わりとなる避難場所として周辺の畑や駐車場を代替地の候補と



図-2 シミュレーションの様子

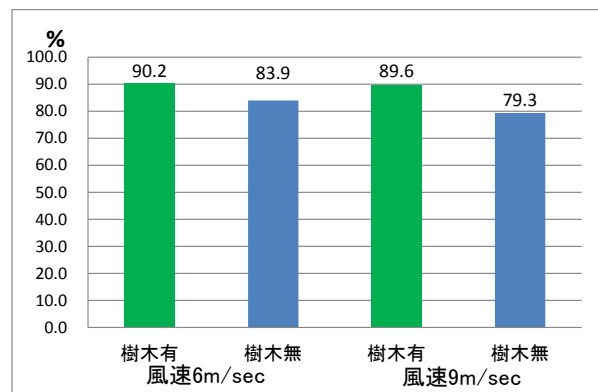


図-3 使用可能な面積の割合

して①から③を設定した。また、出火点は愛媛県の被害想定⁴⁾を参考にしており、松山市全体で消防力を発揮しても残る残出火件数が31件であると想定されているため、当該地区においては火災が1件発生すると仮定する。

(1) 延焼リスク提示による避難経路の安全性評価

まず、風速の違いによって延焼のリスクがどれほどあるのかを検証する。

風速は平常時の3m/sと強風時の6m/sの2つの風速を想定、風向は西に固定、シミュレーション時間は8時間と設定してシミュレーションを行う。図-5に風速6m/sの時の延焼範囲を示す。図の丸印が出火点であり、赤い十字線で示されているのが2,050kcal/m²・hの輻射熱の範囲を示している。指定避難場所となっている中村公園は十字により赤くなっており、輻射熱が公園内まで達していることが分かる。代替地の候補として挙げた3箇所に関しても同様のことが言え、対策を行わずにいると周辺住民が避難できない可能性も出てくる。次に風速ごとの延焼範囲をグラフ化したものを図-6に示す。風速3m/sの場合と風速6m/sの場合とでは8時間後の延焼面積に約1.5倍もの違いが生じた。これは風速が増加するにつれて延焼範囲は風向き側に広がっていき、

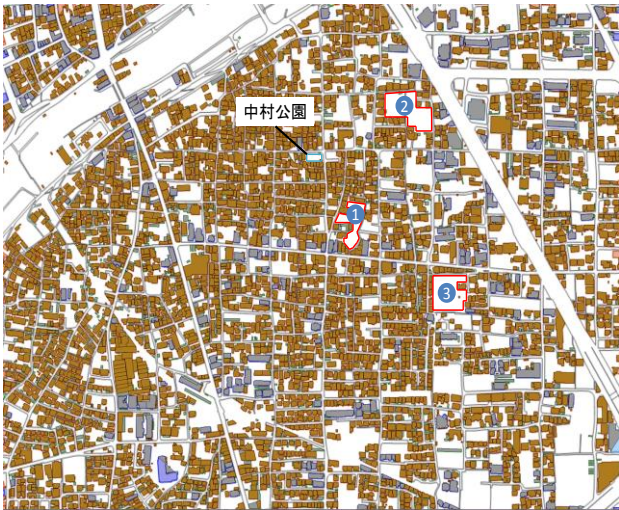


図-4 立花地区概要

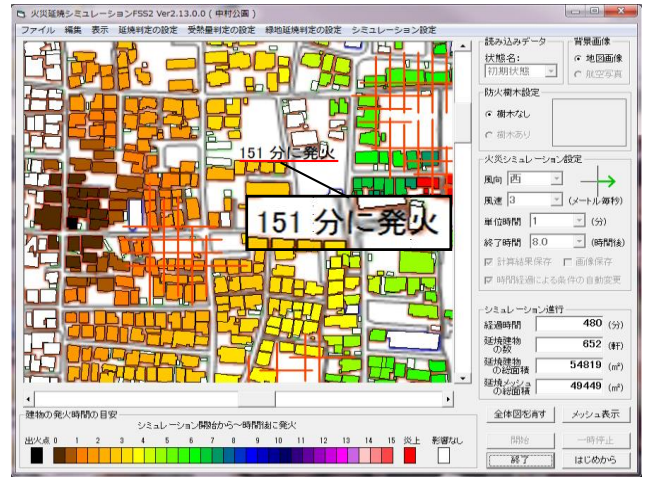


図-7 発火時間の表示

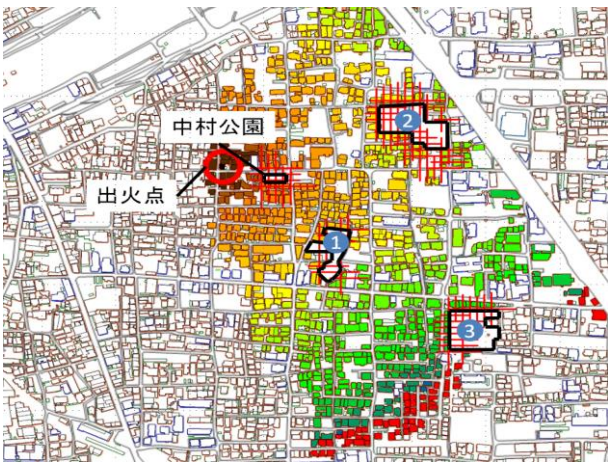


図-5 風速 6m/s の場合の延焼範囲

表-1 避難場所の面積

	面積(m ²)
中村公園	735.48
代替地①	2876.27
代替地②	6007.05
代替地③	4139.16

表-2 避難場所の収容人数

	収容人数(人)
中村公園	367
代替地①	1438
代替地②	3003
代替地③	2069

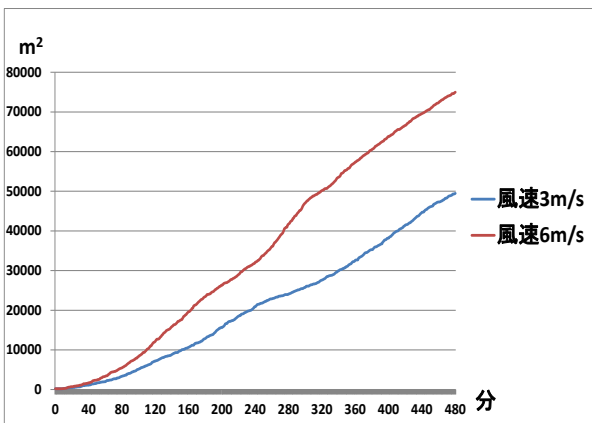


図-6 風速ごとの延焼面積

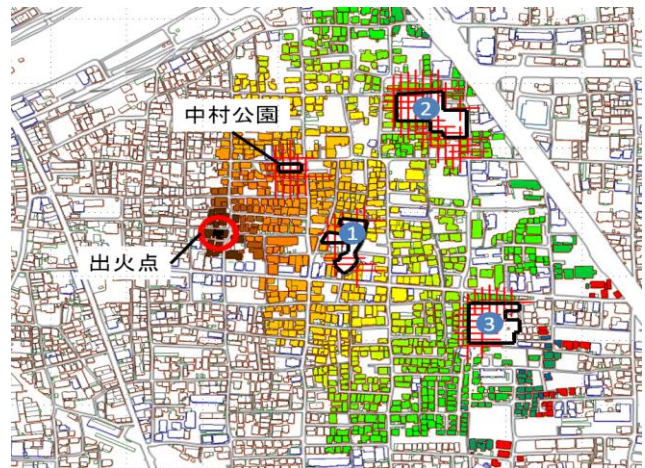


図-8 代替地 1 の熱リスク最大となる時の延焼状況

それに伴い南北方向にも延焼が拡大していくためである。また、本シミュレーションは図-7に示すように延焼した建物にマウスのカーソルを合わせると建物の発火時間が表示される。このことから、住民が

一体火災が発生してから何分後までに避難を開始すればよいか、また、避難場所へ避難してきたとしてもその避難場所が危険であるかを判断できる。そして、その場所が危険であると判断した場合、そこからどの方向に避難していけばよいかを判断できる。

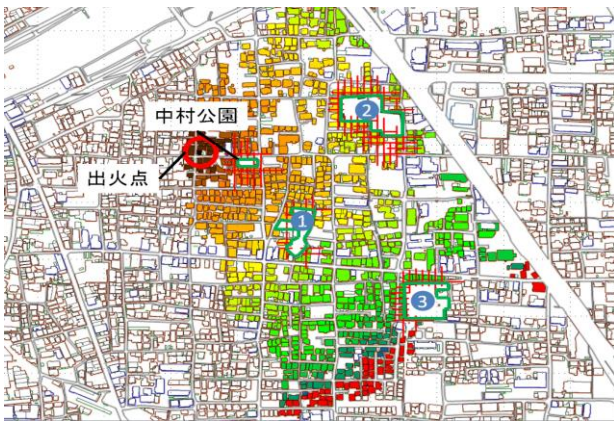


図-9 緑地帯を設置した場合の延焼状況

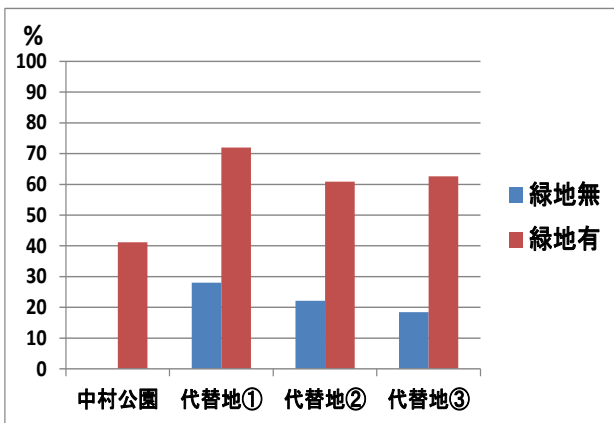


図-10 収容可能人数

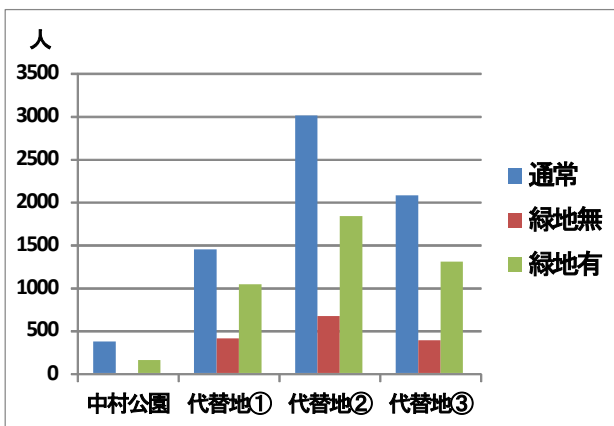


図-11 使用可能率

このことから、何分後までにどの場所まで避難するのがよいのかを住民同士で話し合うきっかけとなり、地区防災計画における避難場所、避難経路の策定に使用できると考えている。

(2) 避難場所の安全性評価

次に、各代替地における安全性評価を行う。今回は代替地における熱リスクが最大となるように出火点を設定する。指定避難場所の中村公園、各代替地の面積を表-1に示し、各場所における収容可能人数

を表-2に示す。収容可能人数は周辺の火災から安全な面積に対して一人あたり2㎡として算出した。今回、中村公園周辺に出火点を置き、指定避難場所とその代替地の安全評価を行う。

風速6m/sの時の延焼範囲を図-8に示す。また、避難場所の周りに樹木を配置した場合の延焼状況を図-9に示す。樹木は高さ・幅共に2m、遮蔽率を40%として設定してある。図-8に比べ放射熱の避難場所内への侵入を防いでいることが分かる。次に各避難場所の使用可能率、収容可能人数をそれぞれ図-10、図-11に示す。使用可能率においては樹木を設置しない場合では中村公園では使用不可、その他の避難場所も30%を切るという結果となった。この結果から、現在の状態では避難してきたとしても二次災害に遭う可能性が十分高いことが分かる。樹木を設置した場合では6割強が使用可能となり、避難場所として機能できる可能性がある。収容人数を見ても最大の収容人数に対して樹木を設置した場合において同じことが言える。

また、今回の場合ではその他の避難場所においても熱リスクの影響が大きいことが分かる。これは、風向・風速、木造家屋の密集している密度にも関係する。つまり、今回設定した出火点の場合においては、例え避難場所周辺に樹木を配置してもリスクはゼロになるわけではないことが分かる。

このことから、当該地区の住民が安全に避難するためには東側を通る国道11号線を越える必要がある。この国道11号線は片側2車線の4車線ある道路であり、延焼遮断帯となっている。また、南側にも国道33号線が通っており、この国道を越えることでも火災から避難できる可能性が十分考えられる。この際にも、建物の発火時間を確認することで火災発生から何時間後までに国道を越えれば避難できるのかが分かり、どの経路を通れば安全に避難できるかもわかるため、住民同士の話し合いのツールとして活用して頂きたいと考えている。

5. おわりに

(1) 本研究のまとめ

著者等は、開発した大震時火災延焼シミュレーション・システムに今回、放射熱等の火災の熱リスクの延焼状況と合わせて表示できるよう改良を行った。このことから、避難場所や避難経路の安全性の評価を行えることが可能となった。

神奈川県茅ヶ崎市の広域避難場所の安全性評価を行ったところ、緑地帯の有無と風速によって使用できる避難所の割合は、最大で10%以上の開きがあることが分かった。今回、火災の出火点を入力するのに、震度7の場合に出火する可能性のある9件で設定し、その場所に関しては無作為に設定したため、今後は築年数を考慮する必要があると思われる。

松山市立花地区を対象地域としてシミュレーションを行ったところ、市が指定する指定避難場所である中村公園は周辺で火災が発生した場合、放射熱に

より避難することができないことが分かった。そこで、指定避難場所の代わりとなる代替地を3つ挙げ、それぞれについて避難場所の安全性の評価を行った。中村公園周辺で出火点を設定したところ、他の避難場所においても輻射熱の影響が大きく出ることが分かった。また、都市計画的な対策として避難場所周辺に樹木を設置してもリスクがゼロとはならない。このことから、当該地区の住民が安全に避難するには東、南側を走る国道を越える必要が出てくる。その避難までに必要な時間は建物の発火時間から分かり、どの避難経路を通れば安全に避難できるかの評価も可能である。

以上より、改良したシミュレーションを用いて茅ヶ崎市の広域避難場所と松山市立花地区の避難場所、避難経路の安全性の評価を行った。風向・風速、出火点の違いによって延焼状況は大きく変わってくるため、住民・行政と共にあらゆる状況を想定しシミュレーションを用いてワークショップ等を行っていく必要があると考えている。

(2) 今後の展望

2章で述べたように、開発した避難場所安全評価システムを用いることで、減災の実践的な定義である「対策の足し算による被害の引き算」における足し算の部分、「時間の足し算」、「空間の足し算」、「人間の足し算」、「手段の足し算」の醸成が可能であると考えている。シミュレーションを核とすることで、住民・行政の双方に対して防災意識に働きかけ、住民・行政が共に地域の防災力を向上させることで来る災害に対して万全の体制で迎えることができると考えている。

しかし、シミュレーションの提示等だけではここまで地域・行政が上手く機能できるとは考えていない。そこで著者等のような専門家がこの住民と行政の間に入り、双方の架け橋的な役割を担う必要があると考えている。

そのためにはCAUSEモデル¹³⁾の適用が好ましいと考えている。CAUSEモデルにおけるリスクへの提示やリスクに関する理解をシミュレーションを用いることで提示し、その後の各段階において問題が生じた場合、専門家も加わり解決策を熟考していく。それを住民・行政と共に進めていくことで地域の防災力の向上へと繋がり、最終的には地域防災計画、地区防災計画の作成に繋がると考えている。また、その各計画においても見直しが必要な時が必ず来るため、その際も専門家が間に入り新たな計画の策定のためのワークショップ等を開き、地域の防災力を向上させ、来る災害に備えるための準備（事前準備）ができることが望ましいと考えている。

今後は、実際に地域に入り本シミュレータの視聴・操作してもらい、本シミュレータが地域の防災意識にどのような影響を与え、避難計画等にどのように反映されていくのかを見極める必要がある。また、今後住民や行政が防災について議論することのできる共通のツールとしての役割を担えるようなシ

ミュレータへと改良を行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 熊谷兼太郎, 小田勝也, 片田敏孝: 津波リスクコミュニケーションの効果の測定方法及び測定事例, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.38, No.121, CD-ROM 4 頁, 2008.
- 2) 関谷直也: 東日本大震災における「避難」の諸問題にみる日本の防災対策の陥穽, 土木学会論文集 F6 (安全問題) Vol.68, No.2, pp.1-11, 2012.
- 3) 愛媛県地震被害想定調査結果(最終報告)について (<http://www.pref.ehime.jp/bosai/higaisoutei/higaisoutei25.html>)
- 4) 糸井川栄一: 震災時の火災延焼シミュレーション～現状報告・将来の行方～, 予防時報, pp.30-35, 2004.
- 5) 木俣昇, 二神透: 防災緑地網整備計画支援のための火災延焼シミュレーション・システムの開発, 土木学会論文集, No.449, IV-7, pp.193-202, 1992.
- 6) 木俣昇, 二神透: 避難場所の火災熱リスク評価に関するシステム論的研究, 土木学会論文集, No.413, IV-12, pp.49-55, 1990.
- 7) 報告書(1923 関東大震災)-内閣府 (<http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeshou/rep/1923--kantoDAISHINSAI/>)
- 8) 広域防災拠点整備に関する調査-国土交通省 (http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/souhatu/h16seika/10bousai/10_sky2.pdf)
- 9) 室崎益輝: 事前復興の ABC 事前の周到的な準備で「減災」, 日経グローバル, No.241, pp.54-55, 2014
- 10) 室崎益輝: 巨大災害に備えるまちづくり, 第 4 回自治体災害対策全国会議, 21 世紀ひょうご, 第 17 号, pp.98-100, 2015.
- 11) 二神透, 國方祐希: 自主防災会・行政・専門家による地域防災力支援システムの開発, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol. 70, No. 2 p. I_161-I_168, 2014.
- 12) 神奈川県 地震被害想定調査(2011 年 3 月 1 日) (<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f5151/p15579.html>)
- 13) Rowan, K. E.: Why Rules for Risk Communication Are Not Enough: A Problem-Solving Approach to Risk Communication, Risk Analysis, Vol.14, No.3, pp.365-374, 1994.