

2012年度

修士論文

論題

マルチエージェントシミュレーションを用いた
観光地における地震火災からの避難に関する研究

指導教員	伊津野 和行 教授
------	-----------

立命館大学大学院 理工学研究科	
博士課程前期課程	
創造理工学専攻	
学生証番号	6167110011-4
氏 名	小林 祐一郎

論文要旨

日本は地震大国であり昔から地震による被害を幾度も被ってきた。また、地震火災などの二次災害も、人々にとっては脅威である。少しでも被害を少なくするためには、ハード面の対策、ソフト面での対策の両方が重要である。しかし観光地においては、歴史的景観を守る為にハード面の対策が難しい場合があり、ソフト面の対策が重要となる。また、観光地を訪れている観光客は避難経路や避難場所を知らない場合がほとんどであり、実際に地震が発生し避難する際に大混乱になる恐れがある。そんな状況で万が一火災が発生した場合、避難の遅れにより甚大な被害が出ると考えられる。本研究は歴史的景観を守る為にハード面の対策が難しい地域の一例として清水寺周辺地域を対象とし、地震火災発生時の避難者の避難行動をコンピューター上のシミュレーションによって再現し、その結果をもとに観光客に対する適切な避難誘導方法の提案を行なったものである。避難者の一部を境内最奥付近に避難させた後に、自警団の方々の協力を得ながら、広域避難所である円山公園などへ誘導して貰おうという方法を、清水寺周辺地域で火災が発生した際の観光客に対する適切な避難誘導方法として提案した。

目次

第1章 序論

<u>1.1 研究の背景と目的</u>	p.1
<u>1.2 研究概要</u>	p.1
<u>1.3 対象地域の現状</u>	p.2
<u>1.4 従来の研究</u>	p.2
<u>1.5 研究の構成と内容</u>	p.4

第2章 使用したソフトウェアについて

<u>2.1 本章の概要</u>	p.7
<u>2.2 マルチエージェントシミュレータ「artisoc」について</u>	p.7
<u>2.3 「artisoc」による避難シミュレーションモデルの構築方法</u>	p.8
<u>2.4 結語</u>	p.10

第3章 清水寺周辺地域における避難シミュレーションモデルの構築

<u>3.1 本章の概要</u>	p.12
<u>3.2 避難シミュレーションモデルの概要</u>	p.12
<u>3.3 モデルに用いるパラメータについて</u>	p.14
<u>3.4 火災発生場所について</u>	p.16
<u>3.5 家屋倒壊場所について</u>	p.17
<u>3.6 結語</u>	p.20

第4章 避難シミュレーションの結果

<u>4.1 本章の概要</u>	p.22
<u>4.2 火災の有無が避難状況に及ぼす影響</u>	p.22
<u>4.3 家屋倒壊が避難状況に及ぼす影響</u>	p.27
<u>4.4 結語</u>	p.34

第5章 避難誘導方法の検討・提案

<u>5.1 本章の概要</u>	p.35
<u>5.2 避難誘導方法の検討</u>	p.35
<u>5.3 避難誘導方法の提案</u>	p.48
<u>5.4 結語</u>	p.48

第6章 結論

5.1 本研究の成果

p.49

5.2 今後の課題と展望

p.51

第1章 序論

1.1 研究の背景

1.1-1 観光地における地震火災対策

地震大国である日本は、昔から地震による被害を幾度も被ってきた。また、地震火災などの二次災害も、人々にとっては脅威である。2011年（平成23年）3月11日に発生した東日本大震災においても、宮城県気仙沼市での漁船用燃料タンクが倒壊したことによる火災や、千葉縣市原市での大規模コンビナートでの火災などによって、約1200棟の建造物が焼損し、約150人の犠牲者が出ている。また、1995年（平成7年）1月17日に発生した阪神淡路大震災では、住宅密集地で火災が発生したため、約7600棟もの建造物が焼損し、約560人の犠牲者が出ている。少しでも被害を少なくするためには、建築物の耐火性能を強くする、消火設備を充実させるなどのハード面の対策、そして避難計画や防災マップの作成などといったソフト面での対策の両方が重要である。しかし観光地においては、歴史的景観を守る為にハード面の対策が難しい場合があり、ソフト面の対策が重要となる。また、土地勘が無く、避難場所や避難経路がわからない観光客が多数存在する為、実際に地震が起こり、避難しなくてはいけなくなった際に、大混乱になる可能性がある。そんな状況で万が一火災が発生した場合、避難の遅れにより甚大な被害が出ると考えられる。よって、観光客のような土地勘のない人々でも、災害時に迅速かつ安全に避難ができるような避難計画を作成することが重要である。

1.1-2 本研究の目的

本研究では、地震火災が発生した際の観光客の避難行動をコンピュータ上のシミュレーションによって再現し、その結果から観光客に対する適切な避難誘導方法や対策を検討し、提案していくことを目的とする。

1.2 研究概要

本研究では、歴史的景観を守る為にハード面の対策が難しく、ソフト面の対策が重要となる地域の一例として、京都市東山区にある清水寺周辺地域を対象とする。地震火災が起こった際の清水寺周辺地域の観光客の避難行動を `artisoc` というマルチエージェント・シミュレータを用いたコンピュ

ーター上のシミュレーションで再現し、その結果から、観光客に対する適切な避難誘導の方法や対策を検討していく。

1.3 対象地域の現状

本研究の対象地域である清水寺は、年間約 500 万人もの参拝客が訪れる観光名所であり、外国からの観光客やお年寄りも多く訪れている。境内には多くの階段があり、周辺地域は細い通路も多く、坂道となっていて、避難の際に非常に危険であると考えられる。一番近い広域避難場所である円山公園までは距離があり、道幅の狭い通路を通ることになる。また、木造建築物が多いため、火災時の対策がいくつか考えられてはいるが、内容は消火活動や重要文化財の保護などに関してであり、避難計画に関しては検討されていない。木造建築物が多いため、地震時には火災も発生する可能性が高く、そうなった場合、早期に観光客を避難させなければ、多くの被害が出るのが考えられるので、地震火災発生時の避難計画について検討することは清水寺およびその周辺地域における最重要課題といっても過言ではない。

1.4 従来の研究

・清野らⁱは地下街を対象とした災害時の避難シミュレーションモデルを個別要素法（DEM）を用いて作製することで、被災時の人間の避難行動に対する個別要素法の適用の可能性を検討している。部分的なものから巨視的なもので解析可能であるとして、避難シミュレーションモデルにおける個別要素法の有用性について示した。

・西野らⁱⁱは関東大震災時の状況をポテンシャル法を用いたシミュレーションによって再現し、当時の被害状況と比較することによって、避難性状予測におけるポテンシャル法の有用性を検討し、ポテンシャル法は避難性状予測に有効であるということを示している。

また、著者はⁱⁱⁱこれまでに、SOARS^{iv}という社会シミュレーションモデル構築用言語を用いて、清水寺周辺地域で地震火災が起こった際の観光客の避難行動をシミュレーションで再現し、その結果から、観光客に対する適切な避難誘導の方法や対策を検討した。結論としては、清水寺周辺地域に存在する清水寺警備団というボランティア組織による、図 1-1 の A 点および B 点においての避難

誘導を、清水寺周辺地域で地震火災が起こった際の観光客に対する適切な避難誘導方法として提案した。しかしこの研究で構築したシミュレーションに問題があったことが今回判明した。避難場所として設定していた駐車場の入口の幅が、本来の半分ほどしかなかったのである。この問題を修正したところ結果は大きく変わることになった。(表 1-1 参照)。この結果から、避難場所の入口が狭くなることで、避難時間に大きな影響を与えることがわかった。



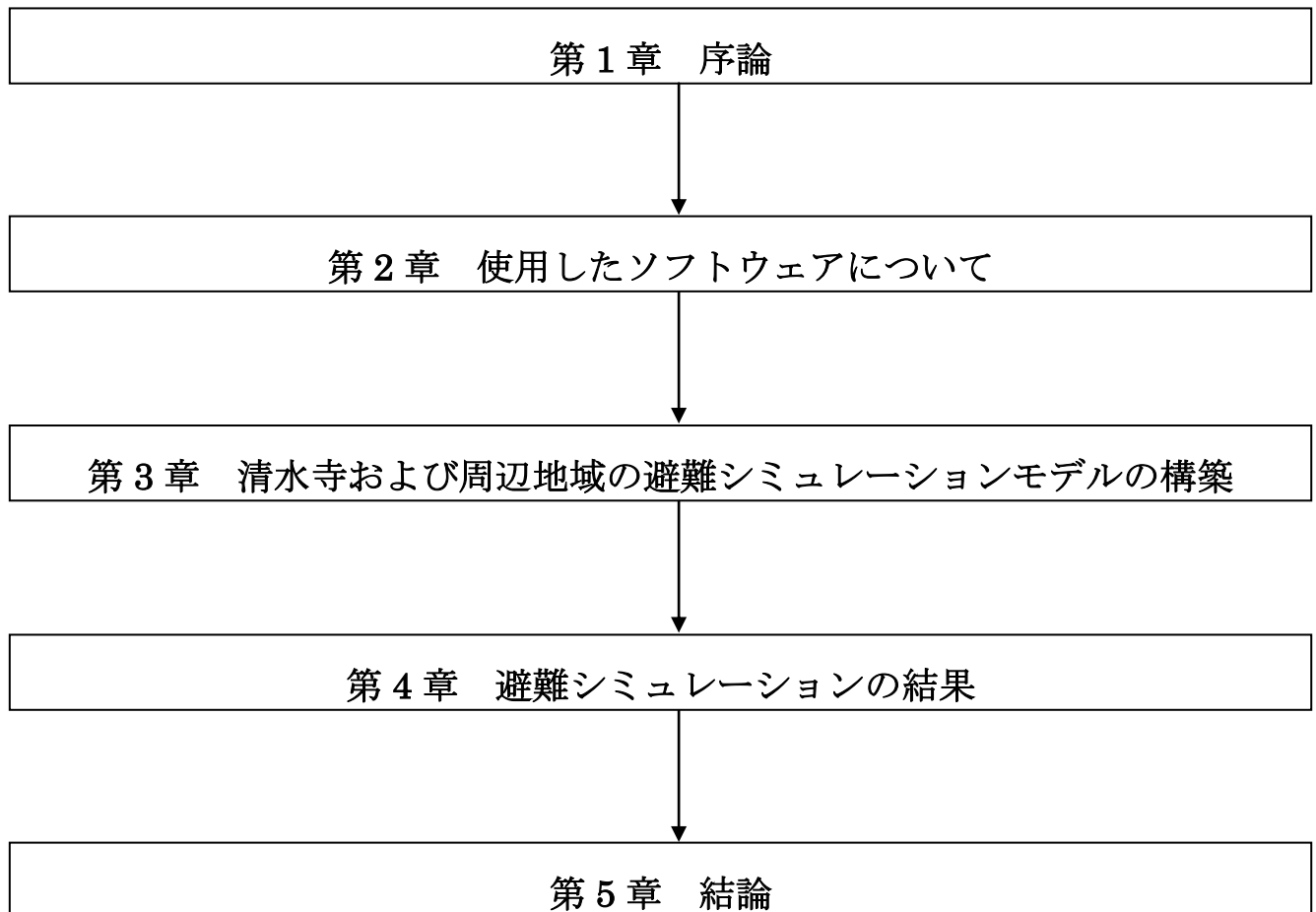
図 1-1.清水寺警備団による避難誘導箇所

松原通上流火災			松原通中流火災			松原通下流火災		
避難誘導なし	避難誘導あり	幅修正	避難誘導なし	避難誘導あり	幅修正	避難誘導なし	避難誘導あり	幅修正
24分11秒	20分30秒	17分10秒	30分09秒	25分55秒	18分46秒	35分37秒	30分22秒	20分20秒

表 1-1. SOARS を用いた避難シミュレーションにおける避難完了時間

1.5 研究の構成と内容

本研究は全5章から構成する。フローチャートを以下に示す。



第2章 使用したソフトウェアについて

第2章では本研究での避難シミュレーションモデルの構築に用いた artisoc というマルチエージェント・シミュレータの概要について述べる。artisoc の概念や artisoc を用いての避難シミュレーションモデルの構築方法について述べる。

第3章 清水寺周辺地域における避難シミュレーションモデルの構築

第3章では artisoc を用いて構築した、清水寺周辺地域における避難シミュレーションモデルの概要について述べる。モデルの構築方法や、用いたパラメータについて述べる。

第4章 避難シミュレーションの結果

第4章では第3章で述べた避難シミュレーションモデルのシミュレーション結果およびそれに基づいての観光客に対する適切な避難誘導方法や対策についての考察を述べる。

第5章 結論

第5章では本研究で得られた成果を総括し、今後の課題や取り組みについて述べる。

-
- i) 清野純史，三浦房紀，瀧本浩一：被災時の群衆避難行動シミュレーションへの個別要素法の適用について，土木学会論文集，No.537/I-35，233-244，1996年4月
- ii) 西野智研，円谷信一，樋本圭佑，田中孝義：関東大震災における東京市住民避難性状の推定に関する研究，日本建築学会環境系論文集，第74巻，第636号，105-114，2009年2月
- iii) 小林祐一郎：観光地における地震火災発生時の観光客の避難に関する研究，立命館大学理工学部都市システム工学科 卒業論文，2011年
- iv) 田沼英樹，出口弘：エージェントベース社会シミュレーション言語 SOARS の開発，電子情報通信学会論文誌，D, Vol.J90-D(9), p 2415-2422, 2007

第2章 使用したソフトウェアについて

2.1 本章の概要

本章では、本研究での避難シミュレーションモデルの構築に用いた **artisoc** というマルチエージェント・シミュレータについて述べていく。**artisoc** の概要および概念、そして **artisoc** における避難シミュレーションモデルの構築方法について述べていく。

2.2 マルチエージェント・シミュレータ「**artisoc**」について

2.2-1 **artisoc** の概要

本研究の避難シミュレーションモデルの開発は、マルチエージェント・シミュレータ「**artisoc**」^vを使用した。**artisoc** (artificial societies) は株式会社構造計画研究所によって開発がされた、マルチエージェント・シミュレータである。マルチエージェント・シミュレータとは、シミュレーションを構成する要素の 1 つである、エージェントという自立行動が可能な存在が多数存在し、それらが相互的に作用していくことによって、シミュレーションを形作っていくようなシミュレータのことである。

著者が以前の研究で用いた「**SOARS**」と比べると、有料であり、プログラミングも難しくなっているが、その分より細かい部分までシミュレーションで再現することが可能である。

2.2-2 **artisoc** の概念

artisoc を構成する基本的な要素として、行動主体である「エージェント」エージェントの性質や役割を表す「変数」、エージェントが行動する為の「ルール」、エージェントが行動する為の「空間」、そしてシミュレーション全体に関わってくる「ルール」及び「変数」がある。**artisoc** によるシミュレーション構築の基本的な流れとしては

- ① 「空間」を設定する
- ② 「エージェント」を作成する
- ③ 「変数」を設定する
- ④ 「ルール」を構築する

というようになっている。この中でも 1 番重要になってくるのが「ルール」の構築である。「ルール」は図 2-1 のような画面で、プログラミングを行う

ことによって構築していく。artisoc の「ルール」で使われている言語は、基本的に Microsoft 社の Visual Basic に沿っている。しかし、プログラミングの知識がなくても比較的簡単に構築することができるようになっている。

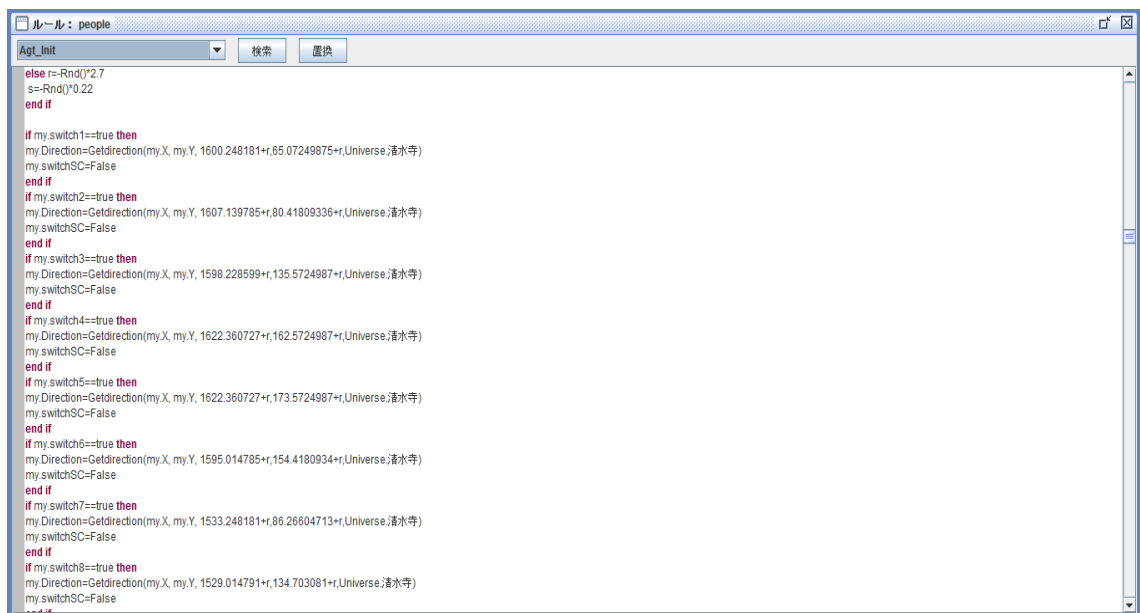


図 2-1. artisoc による「ルール」構築画面

2.3 「artisoc」による避難シミュレーションモデルの構築方法

ここでは、2 階の部屋から 1 階の出口に向かって避難するという、簡単なモデルを例に挙げて、「artisoc」による避難シミュレーションモデルの構築方法について述べていく。まずは空間を作る。空間は X 座標と Y 座標によって表される。そしてその空間の中に壁を配置していくことで、部屋や通路などを表現していく。壁にはエージェントを用いる。artisoc ではエージェントは 1 辺 50 cm の領域をもっているため、これを並べていくことで壁を表現する。図 2-2 の黒い部分が並べた壁エージェントである。

次に避難者エージェントを作成し、空間内に配置する。このモデルでは 1 つの部屋の中でランダムに配置されるよう避難者の「ルール」を構築した。図 2-2 の赤い三角形が避難者エージェントである。避難者エージェントは他の避難者エージェントや壁エージェントと重ならないように「ルール」を構築する。

次に避難者の移動方法に関してだが、本研究では、各箇所に設置したチェックポイントを順番に通っていき、目的地を目指すという方法をとることとしている。図 2-2 の青いバツ印がチェックポイントである。

避難者エージェントは、最初チェックポイント 1、2 のうち近い方に向かって移動を始める。そしてたどり着いたらチェックポイント 3 を目指し、3 にたどり着いたら 4 に、4 にたどり着いたら 5 に、というように移動していき目的地を目指す。また図 2-2 の水色の部分は階段を表しており、ここでは避難者の移動速度は遅くなる。避難者エージェントはチェックポイント 6 に来たら、1 階のチェックポイント 7 に移動、チェックポイント 11 ではチェックポイント 12 に行くかチェックポイント 13 に行くかを 50% の確率で選択し、チェックポイント 12 とチェックポイント 14 のどちらかに避難者エージェント全員がたどり着いたらシミュレーション終了とする。

これらが本研究で用いる避難シミュレーションモデルの基本的な構築方法である。

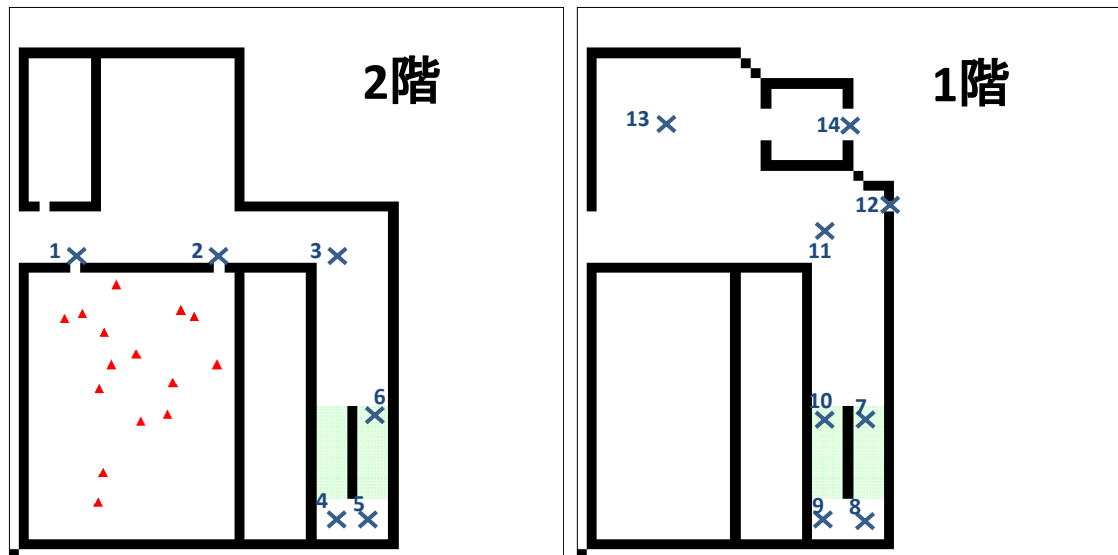


図 2-2. artisoc による避難シミュレーションモデル

2.4 結語

本章では本研究の避難シミュレーションモデルの構築に用いたマルチエージェント・シミュレータ「**artisoc**」の概要と避難シミュレーションモデルの構築方法について述べた。第3章では本研究の対象地域である清水寺周辺地域の現状と **artisoc** を用いて構築した清水寺周辺地域における避難シミュレーションモデルの概要について述べていく。

▼ 株式会社 構造計画研究所, artisoc3.0 ユーザーマニュアル,
<http://mas.kke.co.jp/cabinet/manual3-ja.pdf>

第3章 清水寺周辺地域における 避難シミュレーションモデルの構築

3.1 本章の概要

本章では artisoc を用いて構築した清水寺周辺地域における避難シミュレーションモデルの概要について述べていく。

3.2 避難シミュレーションモデルの概要

第2章の2.3で述べたように、1辺50cmの正方形のエージェントを壁としてならべて配置することによって施設や通路を表現し、避難者エージェントの移動に関しては、各所に配置したチェックポイントを避難者エージェントが順番に通っていくことで表現している。図3-1が artisoc を用いて作成した清水寺周辺地域のマップである。一見すると、ところどころ隙間が開いているように見えるが、拡大してみれば、ちゃんと隙間無く敷き詰められていることがわかる（図3-2参照）。避難者エージェントはシミュレーション開始と同時に避難場所を目指して避難していき、避難者全員が避難完了した時点でシミュレーション終了とする。また、本研究のシミュレーション開始地点は、地震発生直後である。発生する地震の規模として、M7～8程度の観光客が身の危険を感じるほどの揺れのものを想定し、避難者がすぐに避難を始めるという状況を仮定した。なおかつ、地震発生直後に家屋が倒壊し、火災が発生、避難経路の一部が通行不可能になったうえに、火災も発生しているので、出来るだけ早く避難しなければならないという状況を仮定した。

なお、避難場所は、東大路と駐車場とした(図3-3参照)。

東大路と駐車場を避難場所として設定した理由は以下の3点である。

- ・清水寺を訪れる観光客のほとんどは、市営のバスに乗って、東大路のバス停まで来て、そこから歩いて来るか、ツアー客や修学旅行生のように、バスで駐車場まで来てそこから歩いてくるかのどちらかである
- ・避難場所や避難経路を知らない可能性が高い観光客は、災害が起きた場合、来た道を引き返す可能性が高い。
- ・東大路も駐車場も十分なスペースがあり、ここまで避難できれば、避難者の安全は確保できる。

駐車場・東大路、それぞれの入口である図3-1の赤丸の場所までたどり着け

ば、避難完了となる。

本研究では、火災が発生しない場合・松原通で火災が発生した場合・火災に加えて茶碗坂、松原通で家屋が倒壊し、道路閉塞が起きた場合のシミュレーションモデルを作成した。

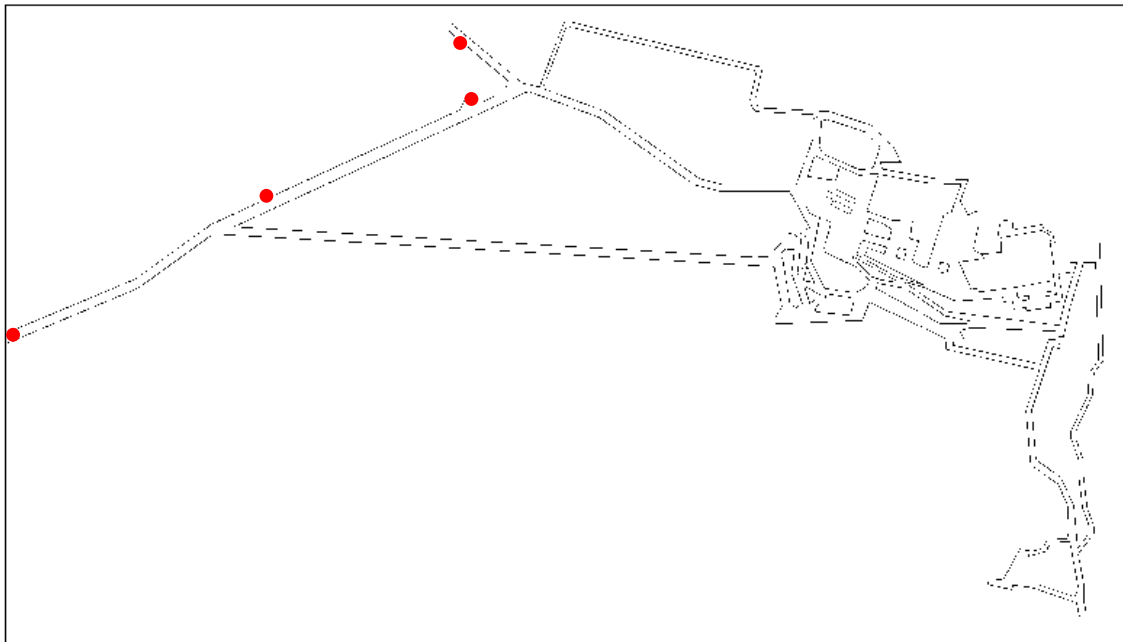


図 3-1. artisoc で作成した清水寺周辺地域のマップおよび避難場所

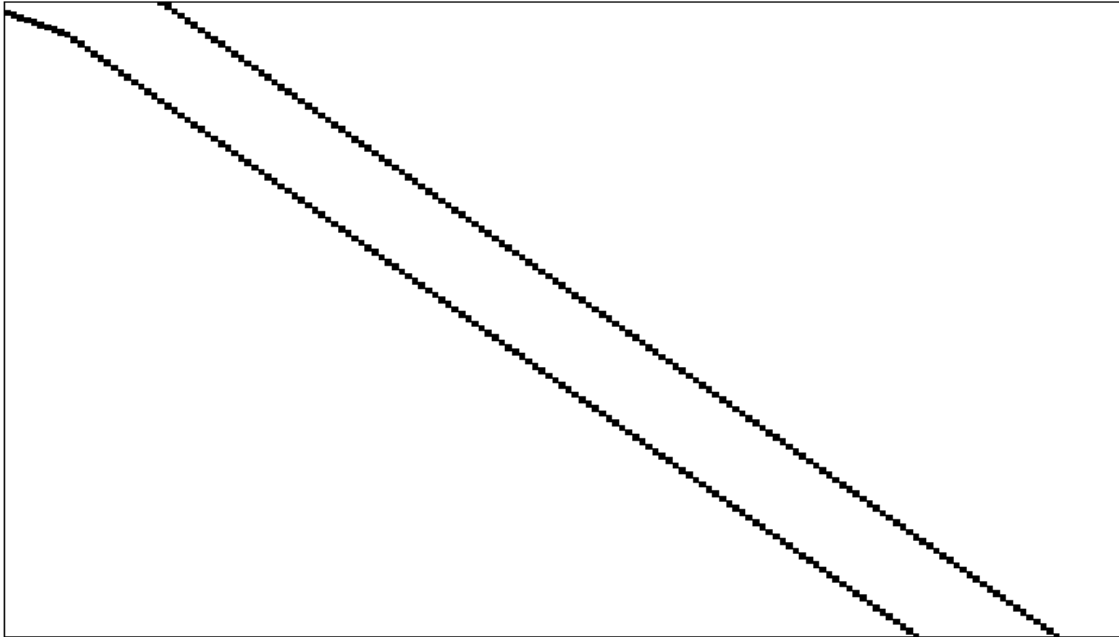


図 3-2. artisoc で作成した清水寺周辺地域のマップ（拡大図）



図 3-3. 清水寺周辺地域のマップ(ZENRIN マップに加筆)

3.3 モデルに用いるパラメータについて

避難者の人数および初期配置の位置については、比較的観光客が多いと思われる休日（2010 年 10 月）の正午過ぎに行った現地調査の人数カウント^{vi}によって得られたデータをもとに決定した（表 3-1 参照）。

通路 1 は奥の院と本堂をつなぐ通路、通路 2 は奥の院と子安塔をつなぐ通路、通路 3 は子安塔と音羽の滝をつなぐ通路、通路 4 は本堂と仁王門をつなぐ通路、通路 5 は音羽の滝と階段 2 および階段 3 をつなぐ通路、階段 1 は音羽の滝と通路 1 をつなぐ階段、階段 2 は仁王門と通路 5 をつなぐ階段、階段 3 は茶碗坂・仁王門・通路 5 をつなぐ階段のことである。この際の人数が 3462 人だったので、本研究ではそれよりも多めの人数をとって、避難者数を 3500 人に設定した¹。

また、分岐点における避難者の経路選択確率については、著者の卒業研究時に GPSLogger という装置を用いて集めたデータを参考にして決定した（図 3-4 参照）。GPSLogger とは、スイッチを入れて持ち歩くことによって、自分の移動した経路を、GPS 機能を用いて記録してくれる装置のことである。パソコンと接続することで図 3-4 のように移動した経路を確認することができる。この移動した経路のログを調べることで経路選択確率を決定した。卒業研究時にはアルバイトを雇い、GPSLogger を起動させて実際に清水寺に行ってもらい、観光してもらって、データを集めた。データは 15 人分集まった。

避難者の移動速度に関しては、避難安全検証法^{vii}を参照し、階段では 0.78m/s、それ以外では基本的に 1.3m/s とし、周りの混雑具合によって、内閣府の中央防災会議「首都直下地震避難対策等専門調査会」（第 8 回）^{viii}を参照し、表 3-2 の数式を用いて移動速度が変わるように設定した。

表 3-1.人数カウントの結果

	人数(人)
奥之院	155
清水寺本堂	366
地主神社	58
音羽の滝	381
子安の塔	11
仁王門周辺	168
松原通	1163
茶碗坂	292
五条坂	237
通路1	27
通路2	107
通路3	102
通路4	91
通路5	202
階段1	35
階段2	21
階段3	47

表 3-2.混雑度による避難者の歩行速度の変化³

混雑度 (人／m ²) d	1.5未満	1.5～6	6以上
歩行速度 (m／時) v	4,000	$(-800 \times d + 5,200)$	$400 \times 6 / d$



図 3-4. GPSLogger のデータ (ZENRIN マップに加筆)

3.4 火災発生場所について

本研究では松原通りにおいて火災が発生した場合について考えた。松原通は清水寺周辺地域ではもっとも人通りが多い場所であり、避難の際にも多くの避難者が避難経路として用いることが予想される。また、本研究において避難場所として設定した駐車場と東大路にたどり着く為には松原通と茶碗坂のどちらかを通る必要があるため、どちらか片方が火災によって通行不可能となった場合、観光客の避難にかなりの遅れが生じるものと思われる。そこで、松原通で火災が発生して通行不可能となった場合のシミュレーションを行う必要があると考え、火災発生場所として設定した。

本研究では松原通に図 3-5 のように 10 箇所の点を想定し、そのいずれかで火災が発生し、通行不可能になった場合のシミュレーションを作成した。また、本研究では、なお、本研究では火災の延焼に関しては考慮していない。これは、井元らの行った研究¹⁸⁾の結果から、時間経過による清水寺周辺地域の延焼状況を参照したところ、火災発生後 1 時間ほど経過しても延焼はあまり広がっておらず、延焼が本格的に広がる前に、避難者の避難が完了してしまい、あまり影響がでないと考えたからである。

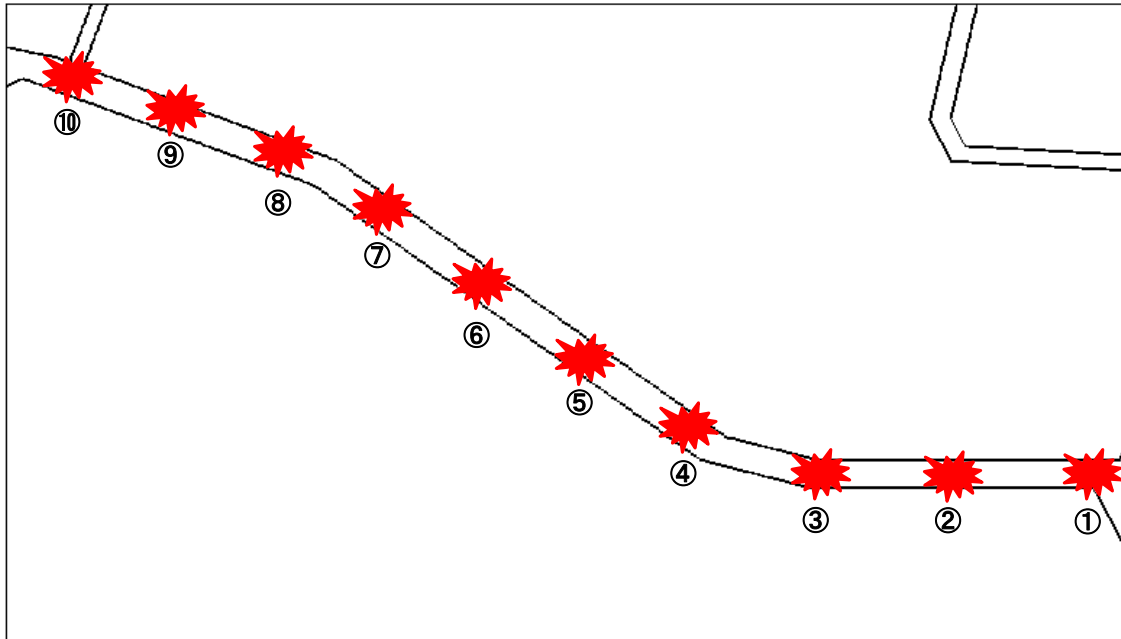


図 3-5. 想定した松原通の火災発生箇所

3.5 家屋倒壊場所について

本研究では、松原通と茶碗坂で家屋が倒壊した場合を想定してシミュレーションを作成した。3.4 でも述べたように、本研究において避難場所として設定した駐車場と東大路にたどり着く為には松原通りと茶碗坂のどちらかを通る必要があるため、家屋が倒壊し、道路閉塞が起きた場合、観光客の避難に大きな支障が出るものと考えられる。

また、京都市第 3 次地震被害想定報告書では、京都市東山区は約 4 割の家屋が倒壊するという予測がされている。道路の両脇に家屋が約 50 棟並び立っている松原通りと、約 100 棟並び立っている茶碗坂は、家屋倒壊による道路閉塞の危険性が高いと考え、この 2 か所において、家屋倒壊による道路閉塞が発生した場合のシミュレーションを作成した。

1 棟の家屋の倒壊によって起きる道路閉塞は、5m にわたって道幅が 1m になるように設定した。これは、松原通りと茶碗坂の家屋の幅の平均が約 5m であり、また作成したシミュレーションにおいて、避難者がすれ違うことの出来る最小値が 1m であった為である。

本研究では、1 割の家屋が倒壊した場合、2 割の家屋が倒壊した場合、避難者がなんとか通り抜けられる限界まで家屋が倒壊した場合の 3 パターンのシ

ミュレーションを作成した。1割倒壊と2割倒壊のシミュレーションにおいては、倒壊する家屋はランダムで決定した（図 3-6、図 3-7 参照）。避難者がなんとか通り抜けられる限界まで家屋が倒壊した場合のシミュレーションにおいては、図 3-8 のように、入口から出口まで左右の建物を交互に倒壊させた。なお、茶碗坂においては、道の両側に家屋が無い場所が 25m 程度あったので、そこは倒壊なしということにした。

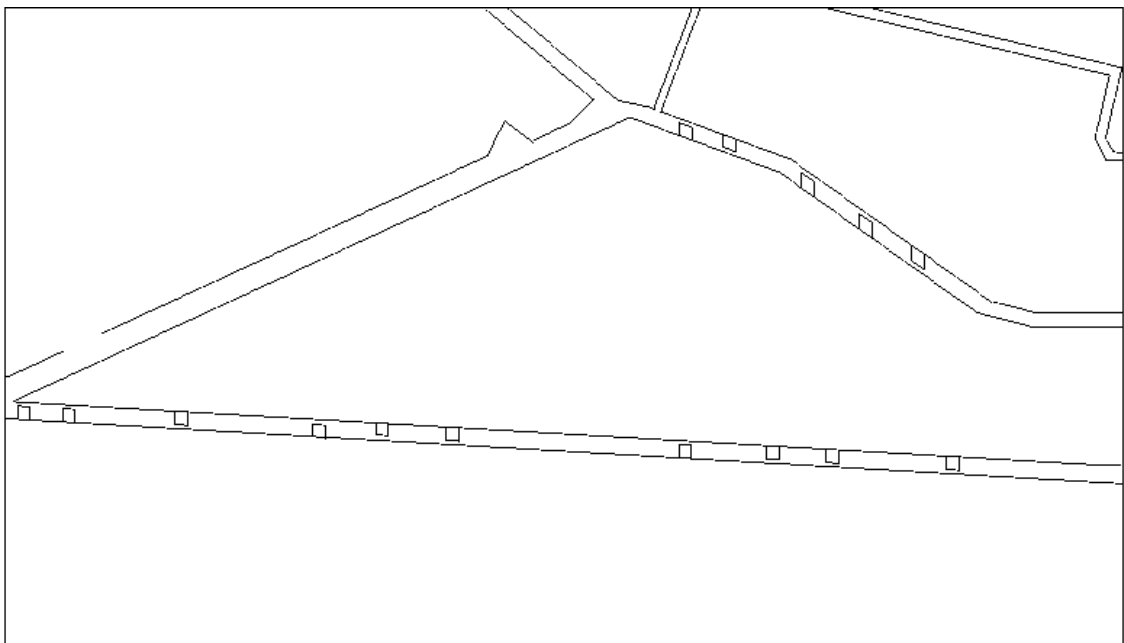


図 3-6. 家屋倒壊の様子（1割倒壊）

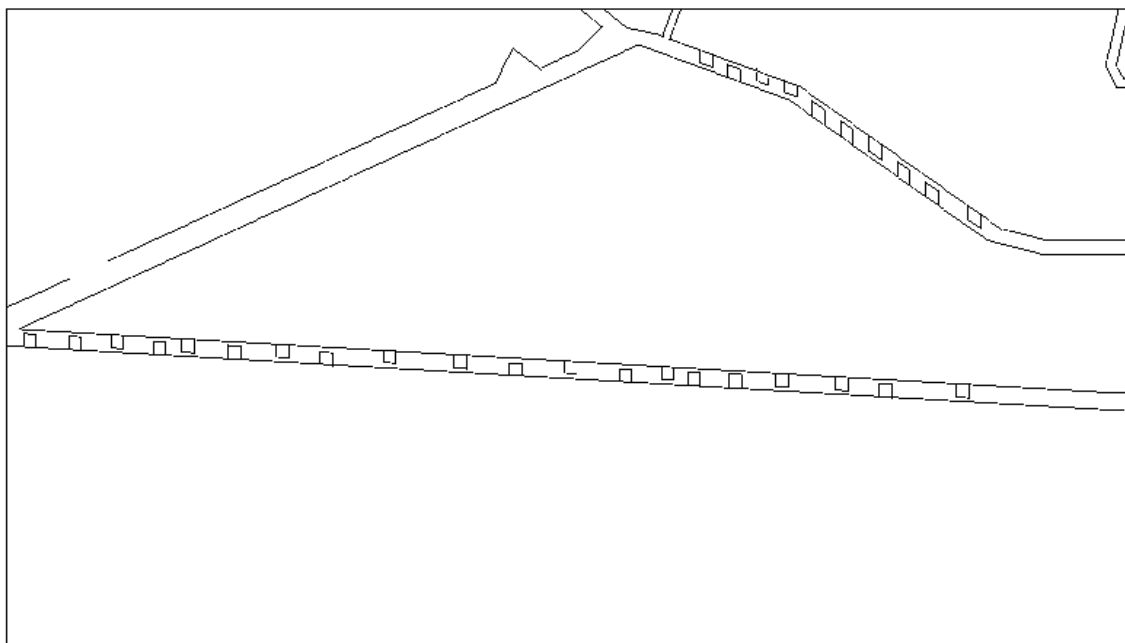


図 3-7. 家屋倒壊の様子（2 割倒壊）

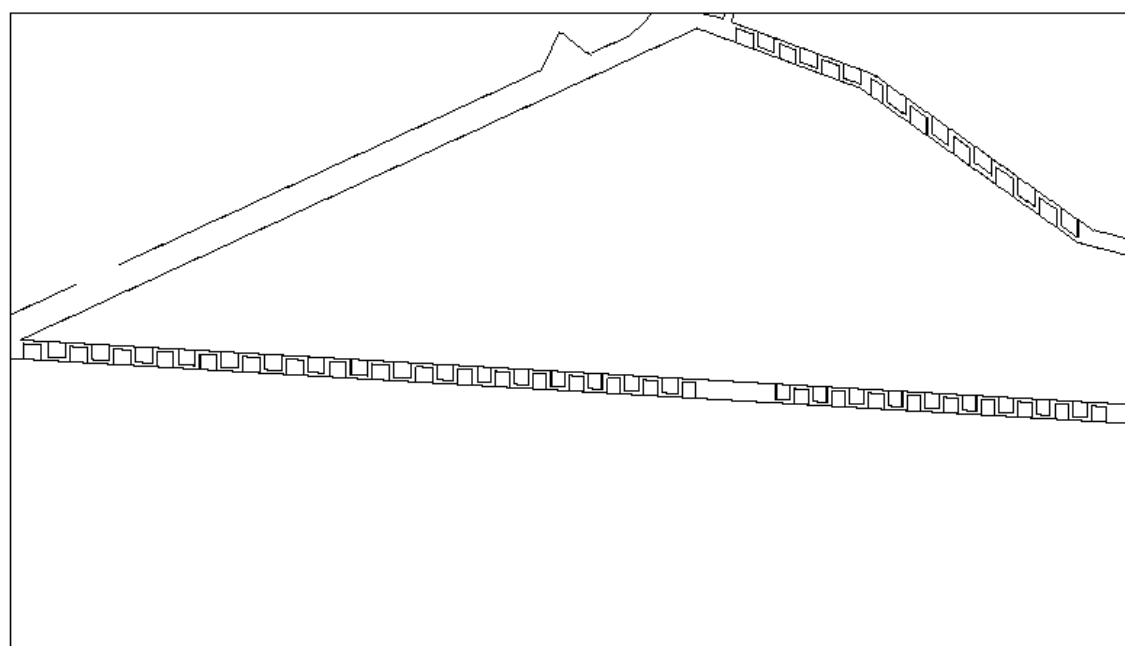


図 3-8. 家屋倒壊の様子（限界まで家屋が倒壊した場合）

3.6 結語

本章では構築した避難シミュレーションモデルの概要について述べた。第 4 章では本章で構築した避難シミュレーションモデルの結果を述べ、考察していく。

-
- vi 小林祐一郎：観光地における地震火災発生時の観光客の避難に関する研究，立命館大学理工学部都市システム工学科 卒業論文，2011 年
- vii 建設省告示第 1441 号，第 2(居室避難計算)，平成 12 年 5 月 31 日
- viii 内閣府（防災担当），中央防災会議「首都直下地震避難対策等専門調査会」（第 8 回）帰宅行動シミュレーション手法について，平成 19 年 10 月 2 日
- ix 井元駿介，大窪健之，樋本圭佑，田中哮義：木造文化都市を守る「延焼抑止防水システム（WSS）」の配置計画に関する研究～京都市清水周辺地域での延焼シミュレーションによる評価を通して～，歴史都市防災論文集,Vol.4,pp.21-28,2010 年 7 月

第4章 避難シミュレーションの結果

4.1 本章の概要

本章では第 3 章で述べた避難シミュレーションモデルのシミュレーション結果を述べ、その結果をもとにして観光客に対する適切な避難誘導方法の検討・提案をしていく。

4.2 火災の有無が避難状況に及ぼす影響

4.2-1 構築した 11 パターンのモデルの結果の比較

結果は表 4-1 および図 4-1 のようになった。火災の有無によって最小で約 2 分 30 秒、最大で約 4 分避難完了時間が遅れることが分かった。

また、火災発生箇所が松原通の上流から下流になるにつれて、避難完了時間が遅れることが分かった。

全体での避難完了時間に関しては、そこまで大きな差が出ることはなかったが、表 4-3 を見ればわかるように、経過時間別の避難完了人数に関しては、避難開始 10 分の段階で、火災なしでは 2241 人が避難完了しているのに対し、⑩で火災が発生した場合はまだ 661 人しか避難完了しておらず、大きな差が出ることとなった。

また、火災が発生した場合のシミュレーションにおいて、①と②、②と③などのように、順番に避難完了時間や、経過時間別の避難完了人数の割合について比べた場合、④で火災が発生した場合のシミュレーションと⑤で火災が発生したシミュレーションが、避難完了時間に 1 番差があり、避難開始 10 分と 15 分における避難完了人数についても、④と⑤が 1 番差がある。図 4-1 を見ればわかるように、ここを境にして、グラフの形状、つまり避難完了状況にも大きな変化がみられる。

図 4-2、図 4-3 は、避難完了者を、避難完了時間帯別に分け、その時間帯に避難完了した避難者が最初どのあたりにいたかを示す図であり、これに関しても火災なしの場合と①～④火災発生の場合、⑤～⑩で火災の発生の場合はそれぞれ同じ様な状況になっており、⑤を境にして変化しており、特に松原通付近に滞在している避難者の避難完了時間に変化がみられ、10 分程度避難時間が違っている。これは、図 4-4 の赤線で囲った場所で発生している混雑が影響しているためであると思われる。

表 4-1. 避難完了時間

	避難完了時間
火災なし	17分34秒
①	19分02秒
②	19分09秒
③	19分20秒
④	19分28秒
⑤	20分40秒
⑥	20分50秒
⑦	20分53秒
⑧	20分55秒
⑨	20分59秒
⑩	21分44秒

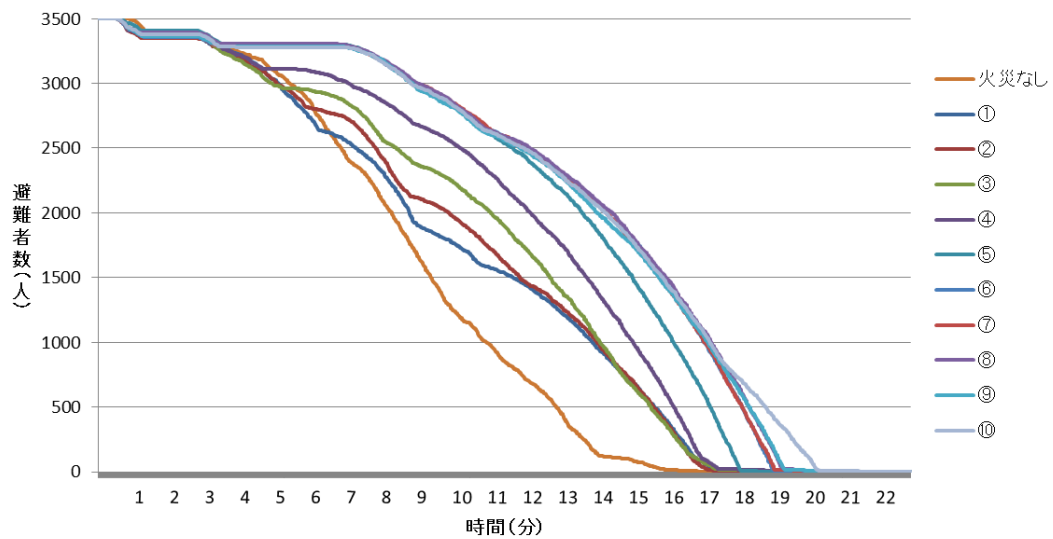


図 4-1. 避難完了状況

表 4-2. 経過時間別の避難完了人数

	避難完了人数										
時間	火災なし	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
5分	408	474	486	518	390	199	212	205	195	215	219
10分	2241	1727	1522	1253	950	644	663	645	637	682	661
15分	3401	2779	2767	2805	2446	1953	1681	1682	1650	1718	1680
20分	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3495	3495	3493	3489	3356

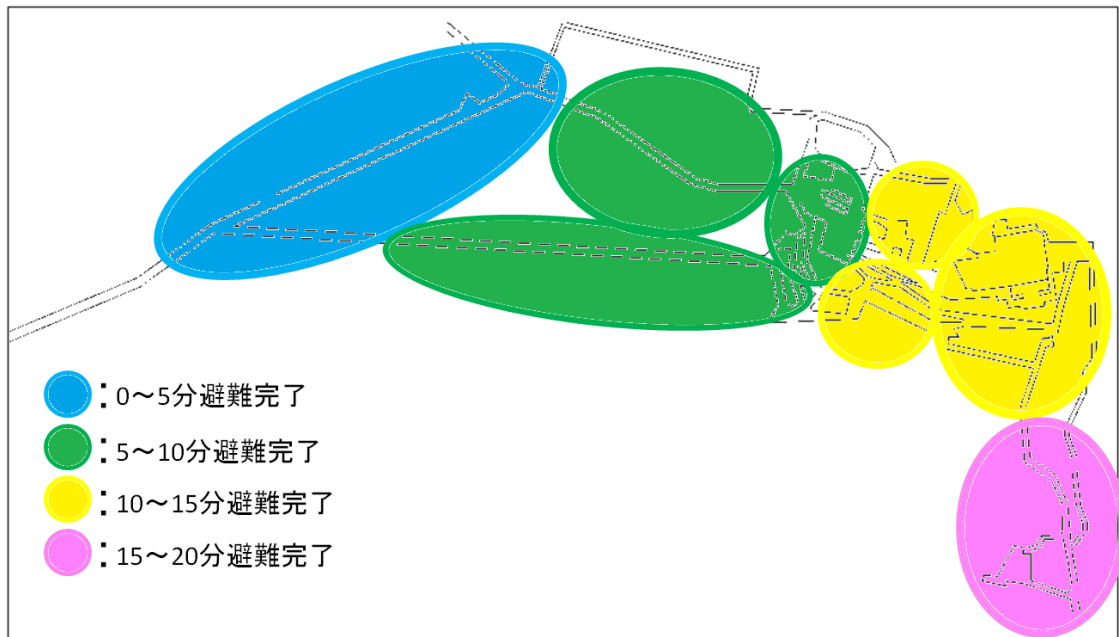


図 4-2. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（火災なし・①～④火災発生）

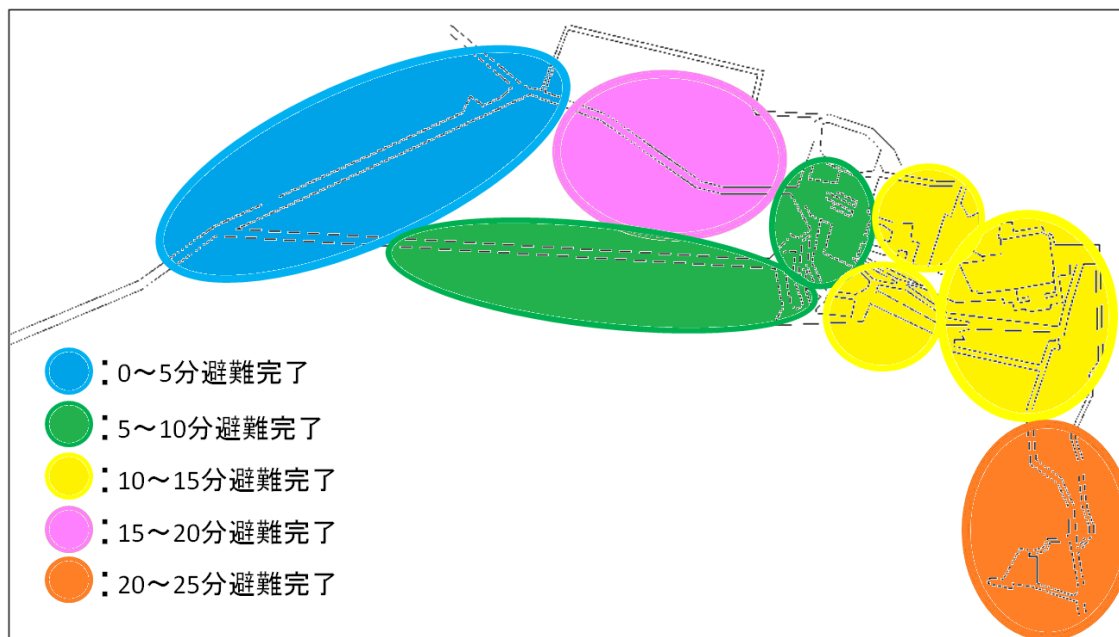


図 4-3. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（⑤～⑩火災発生）

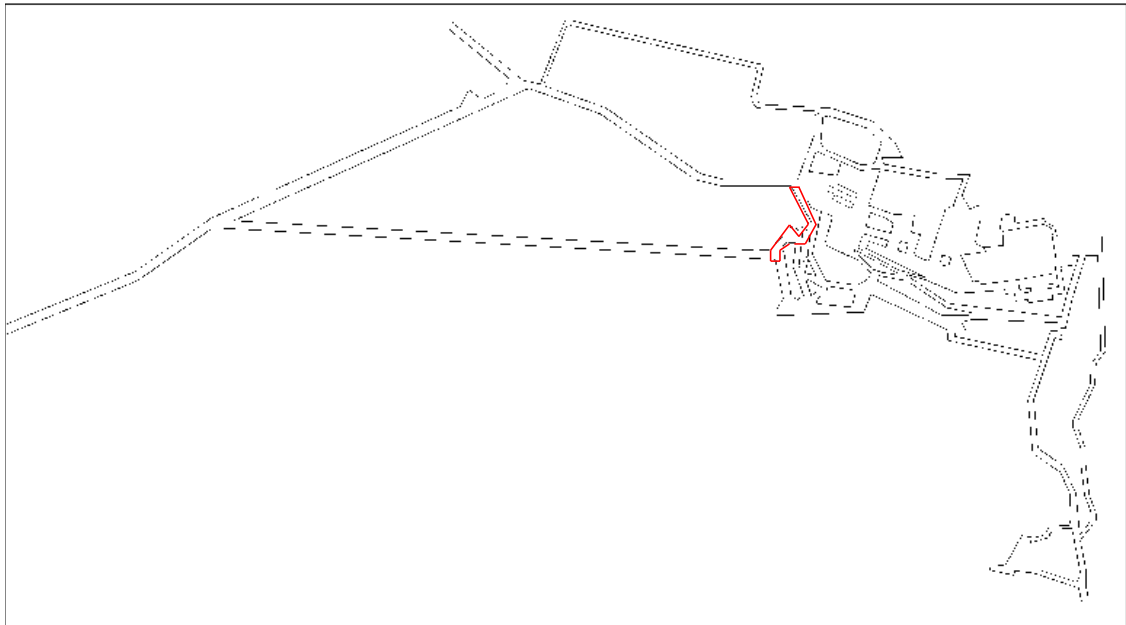


図 4-4. 混雑発生箇所

4. 2-2 混雑の原因および避難に与える影響

本研究で作成したシミュレーションでは、松原通にいる避難者は、火災発生箇所まで移動した後引き返してきて、茶碗坂に向かい避難するようになっている。

また、境内にいる観光客は松原通の上流付近にたどり着いた時点で松原通が通行不可能と判断し、茶碗坂に向かい、それまでは火災なしの場合と同じように行動するようになっている。この場合、境内にいる避難者のほとんどは最初は松原通を目指す設定になっているため、結果として図 4-4 の赤線で囲った場所を通ることになり、混雑が発生する。

この場所の混雑の状況を表したものが図 4-5 である。火災なしの場合はあまり混雑がなく、①から火災発生箇所が下流になるにつれて混雑度が徐々に増し、⑤で急激に増え、その後は徐々に減少していく。

原因に関してだが、①～⑤火災発生においては、火災発生箇所が上流になるにつれて、最初松原通にいて、火災発生箇所まで行って引き返してきた避難者と、最初本堂付近および音羽の滝付近にいる避難者が、混雑発生箇所にたどり着く時間帯が近づいていき、⑤でほぼ一致するため、このような結果となったと考えられる。

⑥～⑩においては、⑥以降、最初松原通にいて、火災発生箇所まで行って引

き返してきた避難者と、最初本堂付近および音羽の滝付近にいる避難者が、混雑発生箇所にとどり着く時間帯が再び離れていくため、混雑は徐々に緩和されていく。一方で、今度は最初松原通にいて、火災発生箇所まで行って引き返してきた避難者と、最初子安の塔付近に居た避難者の混雑発生箇所にとどり着く時間帯が近づいていく。尚且つ彼らよりも先に混雑発生箇所にとどり着いている、最初本堂および音羽の滝付近に居た避難者による混雑の影響も出てくるため、混雑の減少度合いが低くなる結果となった。

また、図 4-2、図 4-3 を見ればわかるように、全ての避難シミュレーションにおいて、避難場所である東大路および駐車場からもっとも遠い場所である子安の塔付近に最初居る避難者が、もっとも避難完了時間が遅くなるという結果となっている。最初子安の塔付近にいる避難者に対して、この混雑発生箇所での混雑が、火災なしの場合は全く影響が無い。火災発生箇所が下流になるにつれて徐々に影響が強くなっていくため、火災発生箇所が下流になるにつれて避難完了時間が遅くなっているものと考えられる。

また、①～④で火災が発生した場合は、混雑がある程度緩和しつつある状況で、最初子安の塔付近にいる避難者が混雑発生箇所にとどり着く。それに対して、⑤より下流で火災が発生した場合は、混雑が発生している状況で最初子安の塔付近にいる避難者が混雑発生箇所にとどり着く。そのため、④で火災が発生した場合と⑤で火災が発生した場合に、他よりも避難完了時間に大きな差が出たものと考えられる。

そして⑤より下流で火災が発生した場合は、この混雑が最初約 1000 人居る松原通の避難者の避難にも影響を与える為、時間別の避難完了人数についても④での火災発生と⑤での火災発生において大きな差が出たものと考えられる。

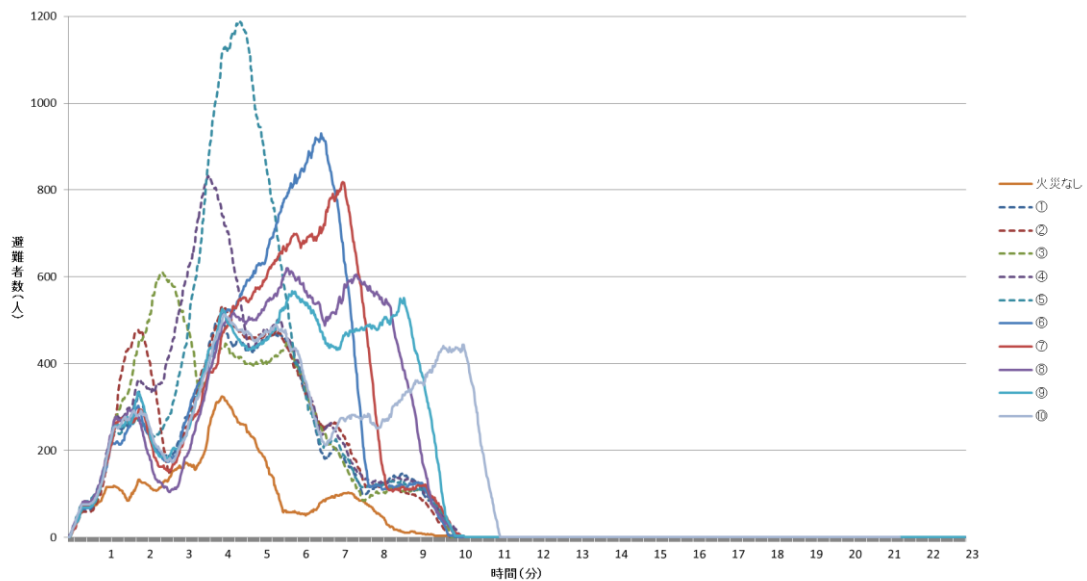


図 4-5. 混雑発生箇所における避難者数の推移

4.3 家屋倒壊が避難状況に及ぼす影響

本研究では、火災なしの場合と、火災発生の場合の①、⑤、⑩をそれぞれ上流、中流、下流として、この4パターンにおいて、1割倒壊、2割倒壊、限界倒壊の3つのシミュレーションを行なった。

結果は、表 4-3～4-7 および図 4-6～4-9 のようになった。

倒壊なしの場合と限界倒壊の場合を比べると、火災なしの場合は約 6 分、松原通上流火災では約 7 分、松原通中流火災では約 7 分 30 秒、松原通下流では約 10 分 30 秒、避難完了時間に差が出ており、火災発生箇所が下流になるにつれて、倒壊なしとありの場合の避難完了時間の差が広がるという結果になった。

また、時間別の避難完了人数についても、避難開始 10 分の段階での避難完了人数が、倒壊なしの場合と比べると、1割倒壊でも火災なしは約 250 人、松原通上流火災では約 650 人、松原通中流火災と松原通下流では約 1700 人も差がある。限界倒壊にまでなると、火災なしは約 950 人、松原通上流火災では約 1200 人、松原通中流火災と松原通下流では約 2000 人も差がある。

図 4-2、4-3 と図 4-7、4-9、4-11、4-13 をそれぞれ比べればわかるように、全体的に避難に遅れが生じており、家屋の倒壊が、避難者の避難に大きな影響を与えることがわかった。

また、火災なしの4パターンのモデル、松原通上流火災の4パターンのモデル、松原通中流火災の倒壊なし、1割倒壊、2割倒壊の3パターンのモデル、

松原通下流火災の倒壊なし、1割倒壊の2パターンのモデルは、避難完了がもっとも遅れるのは、避難場所である東大路および駐車場から最も遠い子安の塔付近に最初居る避難者なのだが、松原通中流火災の限界倒壊、松原通下流火災の2割倒壊、限界倒壊の3パターンのモデルに関しては、最初松原通にいる避難者も最初子安の塔にいる避難者と同じくらい避難が遅れるという結果になった。

この原因に関してだが、最初松原通に居る避難者は、火災発生箇所まで1度行ってから、引き返してくる為、家屋倒壊による道路閉塞の影響を一番受ける。その結果、松原通中流火災の限界倒壊、松原通下流火災の2割倒壊、限界倒壊の3パターンのモデルに関しては、子安の塔付近に最初居る避難者よりも、家屋倒壊による道路閉塞の影響を大きく受けた松原通に最初居る避難者の方が、避難完了が遅れる結果になったのだと考えられる。

表 4-3. 避難完了時間

	火災なし	松原通上流火災	松原通中流火災	松原通下流火災
倒壊なし	17分34秒	19分02秒	20分40秒	21分44秒
1割倒壊	18分30秒	19分28秒	22分00秒	23分28秒
2割倒壊	18分53秒	20分30秒	23分05秒	24分40秒
限界倒壊	23分49秒	26分01秒	28分16秒	32分20秒

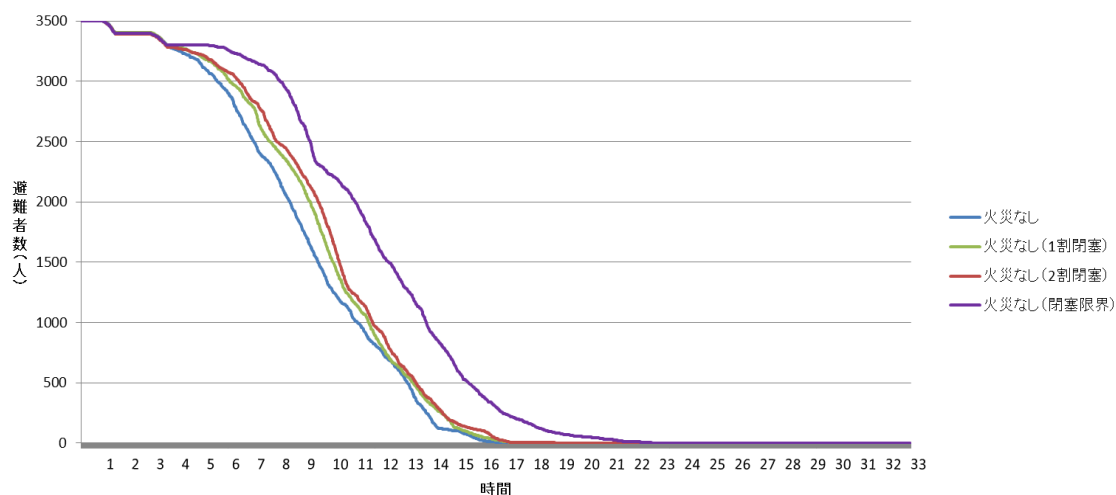


図 4-6. 避難完了状況（火災なし）

表 4-4. 経過時間別の避難完了人数（火災なし）

時間	避難完了人数			
	倒壊なし	1割倒壊	2割倒壊	限界倒壊
5分	408	323	302	201
10分	2241	1996	1825	1282
15分	3401	3377	3347	2902
20分	3500	3500	3500	3448

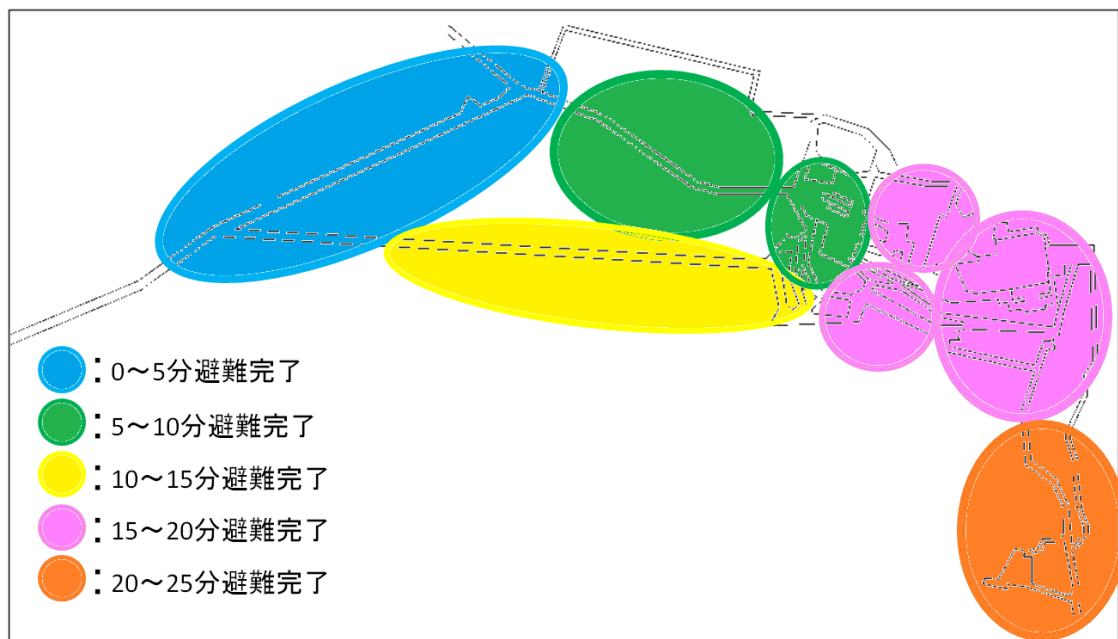


図 4-7. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（火災なし・限界倒壊）

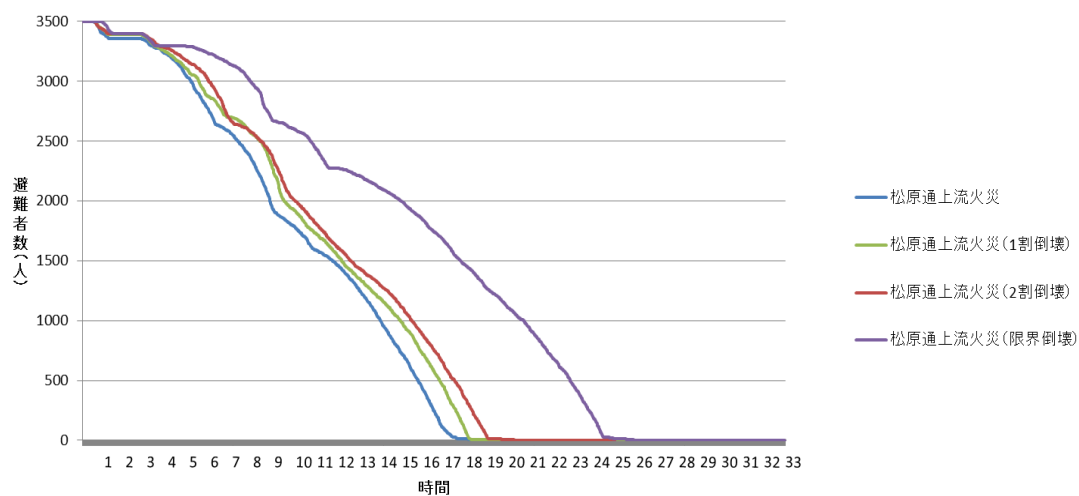


図 4-8. 避難完了状況（松原通上流火災発生）

表 4-5. 経過時間別の避難完了人数（松原通上流火災発生）

時間	避難完了人数			
	倒壊なし	1割倒壊	2割倒壊	限界倒壊
5分	474	423	344	211
10分	1727	1586	1502	906
15分	2779	2519	2393	1505
20分	3500	3500	3492	2393
25分	3500	3500	3500	3487

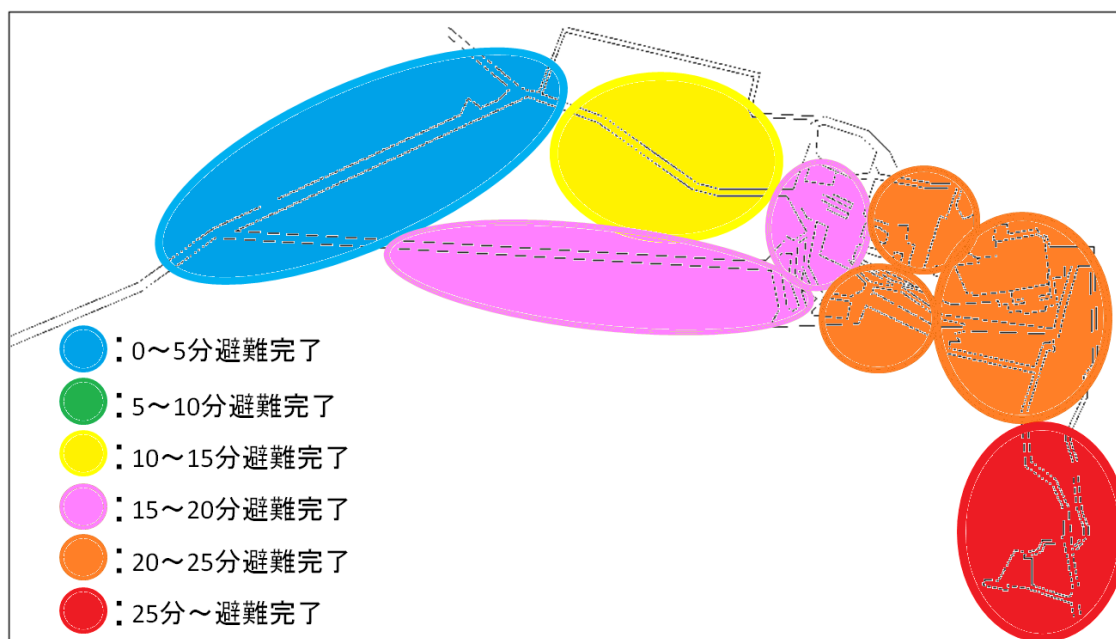


図 4-9. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（松原通上流火災・限界倒壊）

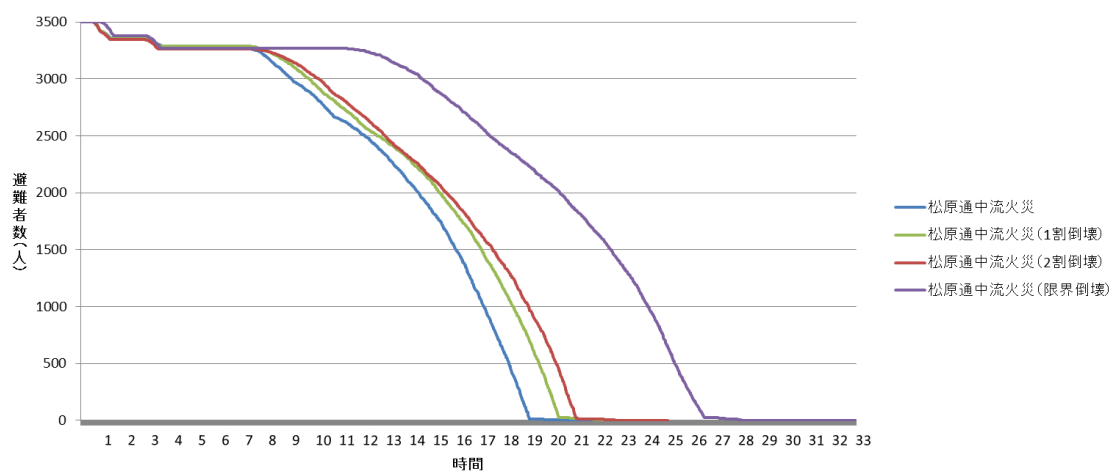


図 4-10. 避難完了状況（松原通中流火災発生）

表 4-6. 経過時間別の避難完了人数（松原通中流火災発生）

時間	避難完了人数			
	倒壊なし	1割倒壊	2割倒壊	限界倒壊
5分	212	209	237	228
10分	663	553	487	228
15分	1681	1426	1379	582
20分	3495	3260	2878	1424
25分	3500	3500	3500	2857

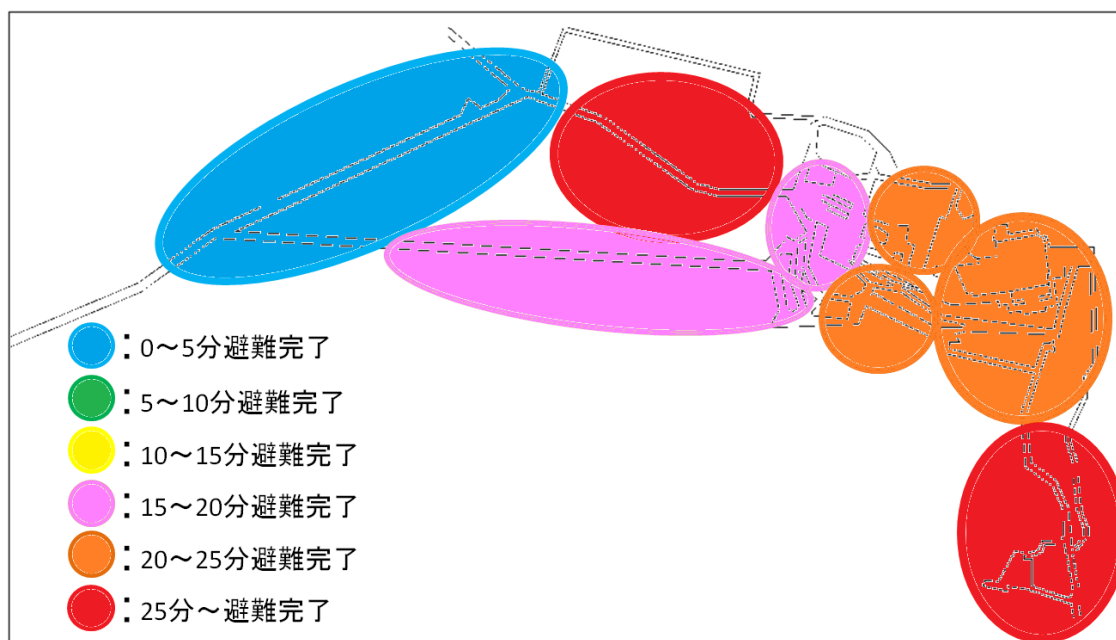


図 4-11. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（松原通中流火災・限界倒壊）

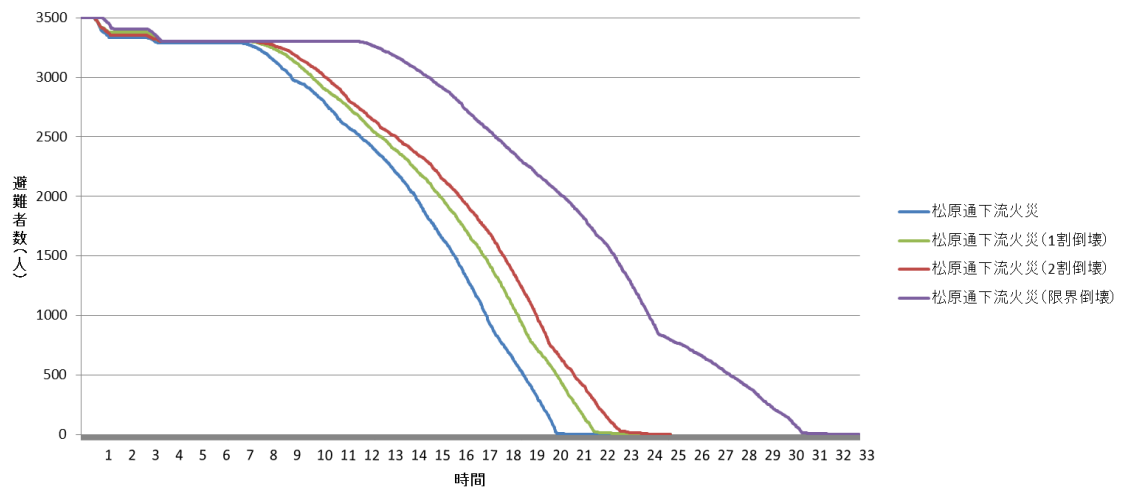


図 4-12. 避難完了状況（松原通下流火災発生）

表 4-7. 経過時間別の避難完了人数（松原通下流火災発生）

時間	避難完了人数			
	倒壊なし	1割倒壊	2割倒壊	限界倒壊
5分	213	195	200	196
10分	650	539	441	196
15分	1754	1450	1274	544
20分	3422	2951	2773	1422
25分	3500	3500	3500	2707
30分	3500	3500	3500	3360

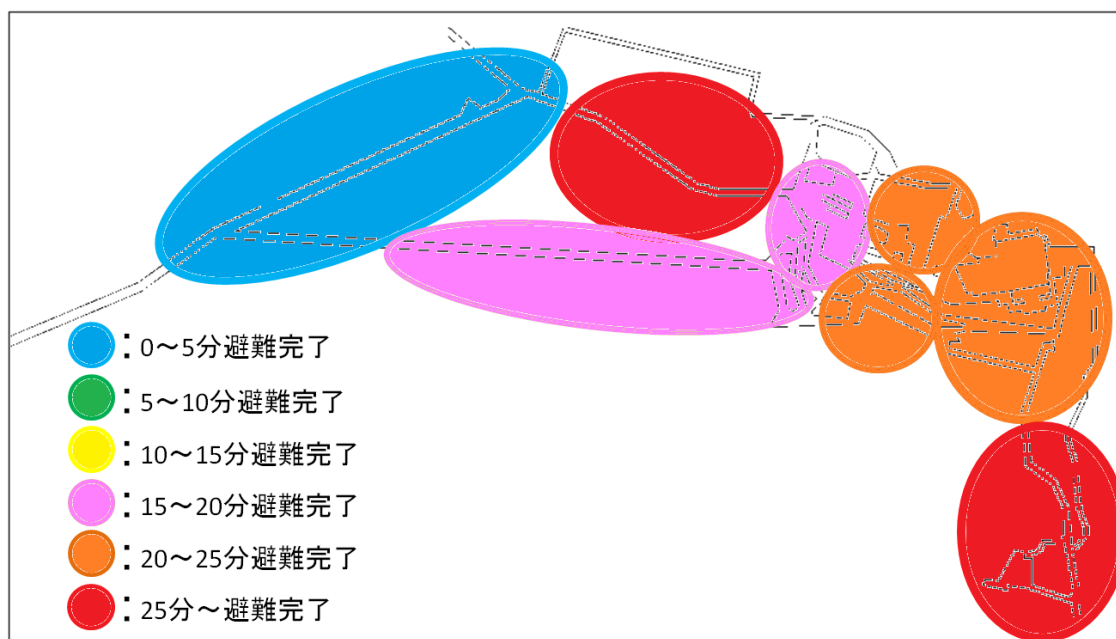


図 4-13. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（松原通下流火災・限界倒壊）

4.4 結語

本章では第 3 章で述べたシミュレーションモデルの結果を示し、火災の有無および家屋の倒壊が避難状況に及ぼす影響について述べた。第 5 章ではこれらの結果をもとに、適切だと思われる避難誘導方法に関して検討・提案していく。

第5章 避難誘導方法の検討・提案

5.1 本章の概要

本章では第4章で述べた避難シミュレーションモデルのシミュレーション結果をもとに、観光客に対する適切な避難誘導方法の検討・提案をしていく。

5.2 避難誘導方法の検討

5.2-1 避難場所の追加

第4章で述べた結果より、避難場所が、東大路、駐車場のみであると、避難開始時に奥ノ院や子安の塔付近にいる避難者は、避難が大幅に遅れることがわかった。そこで、火災なし（倒壊なし・限界倒壊）・松原通上流火災（倒壊なし・限界倒壊）・松原通中流火災（倒壊なし・限界倒壊）・松原通下流火災（倒壊なし・限界倒壊）の8パターンのシミュレーションに、新たな避難場所として、図5-1の赤丸部分（以後境内最奥付近）を追加した。

新たに追加した避難場所についてだが、周りに家屋がないため、火災・倒壊による2次災害の危険が少なく、道を南に進んでいくと、広い道である国道1号線にたどり着く。災害発生時に安全を確保するための一時的な避難場所としては、適していると考えられる。しかし、通常時は門が閉められており、順路にも載っておらず、この場所の存在すら知らない観光客がほとんどであると考えられる。

避難開始時に東大路、駐車場よりも、境内最奥付近に近い場所（図5-2の赤丸で囲った部分）にいる避難者は、こちら側に避難するように設定して、避難者の避難方向を分けたシミュレーションを行った。

結果は表5-1～5-5および図5-3～5-14のようになった。

避難完了時間に関しては、全体的に短くなった。しかし、松原通中流火災発生時の限界倒壊時の場合は1分程度しか改善されず、松原通下流火災発生時の倒壊なしと限界倒壊時の場合に関しては、約10秒悪化した。これら3つのパターンでは、避難場所を増やす前のシミュレーションにおいて、避難開始時に松原通付近に滞在していた避難者が、もっとも避難時間が遅くなっている。避難場所を追加したことで、混雑は多少緩和されたが、松原通にはもともと約1000人の避難者が滞在しており、結局混雑が発生し、彼らの避難状況にほとんど変化がなかったために、このような結果になったのだと考えられる。

経過時間別の避難完了人数に関しては、避難場所を増やしたことで、本堂・音羽の滝・地主神社・奥ノ院・子安の塔付近にいる約 1200 人の避難者が 10 分以内に避難完了しているのも、どのシミュレーションでも避難開始 10 分での避難完了者数が 1000 人程度増え、また、全てのパターンにおいて、倒壊なし（避難場所追加前）よりも限界倒壊（避難場所追加後）のほうが避難開始 10 分経過までは、避難完了人数が 1000 人～1500 人多いという結果となった。

避難完了時間帯別の避難者の初期滞在場所（図 5-3、5-4、5-7、5-8、5-10、5-11、5-13、5-14 参照）についても、全体的に避難完了時間帯は早くなり、当然本堂・音羽の滝・地主神社・奥ノ院・子安の塔付近が、特に早くなる結果となったのだが、松原通中流火災発生時の限界倒壊時の場合と、松原通下流火災発生時の倒壊なしと限界倒壊時の場合に関しては、松原通の避難完了時間帯が、避難場所追加前と比べても、改善されずに遅いままであるという結果になった。

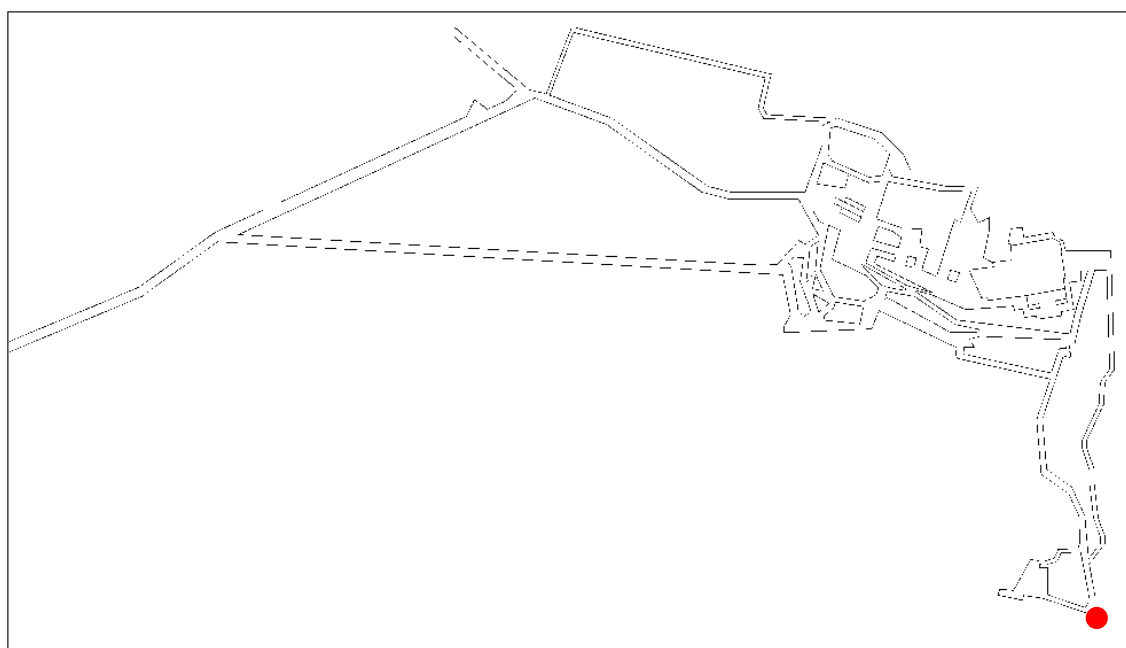


図 5-1. 新たに追加した避難場所

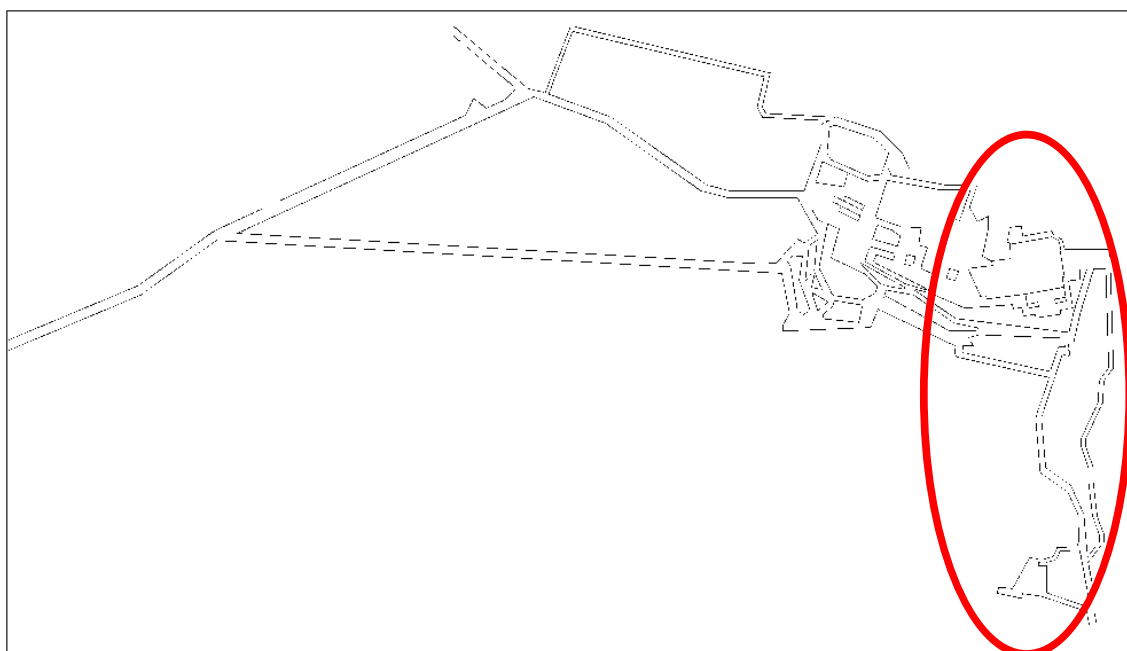


図 5-2. 新たに追加した避難場所に避難する避難者の初期滞在場所

表 5-1. 避難完了時間

	火災なし	松原通上流火災	松原通中流火災	松原通下流火災
倒壊なし	17分34秒	19分02秒	20分40秒	21分44秒
1割倒壊	18分30秒	19分28秒	22分00秒	23分28秒
2割倒壊	18分53秒	20分30秒	23分05秒	24分40秒
限界倒壊	23分49秒	26分01秒	28分16秒	32分20秒
倒壊なし(2方向避難)	13分07秒	15分07秒	18分12秒	21分52秒
限界倒壊(2方向避難)	18分51秒	19分53秒	27分11秒	32分02秒

表 5-2. 経過時間別の避難完了人数（火災なし）

	避難完了人数					
時間	倒壊なし	1割倒壊	2割倒壊	限界倒壊	倒壊なし(2方向避難)	限界倒壊(2方向避難)
5分	408	323	302	201	979	867
10分	2241	1996	1825	1282	3163	2552
15分	3401	3377	3347	2902	3500	3435
20分	3500	3500	3500	3448	3500	3500

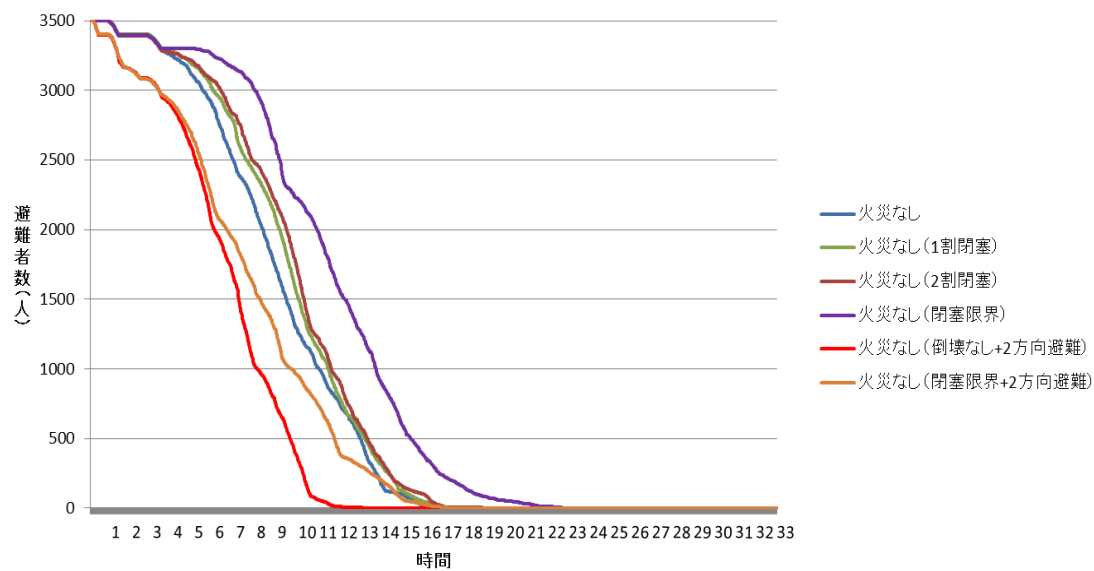


図 5-3. 避難完了状況（火災なし）

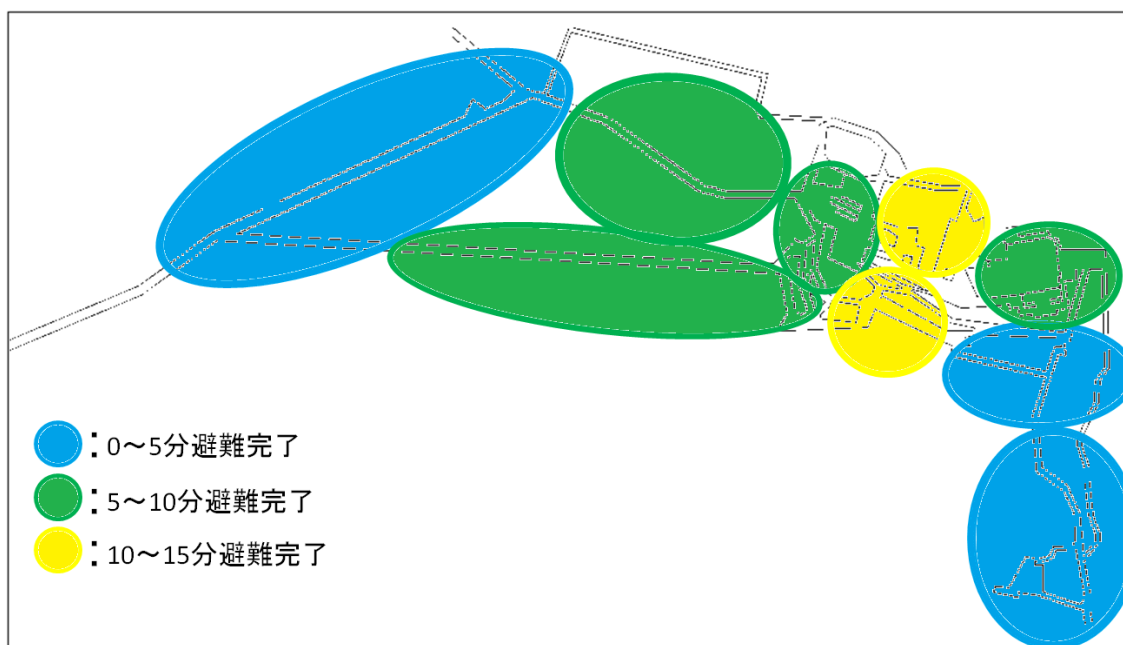


図 5-4. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（火災なし・倒壊なし）

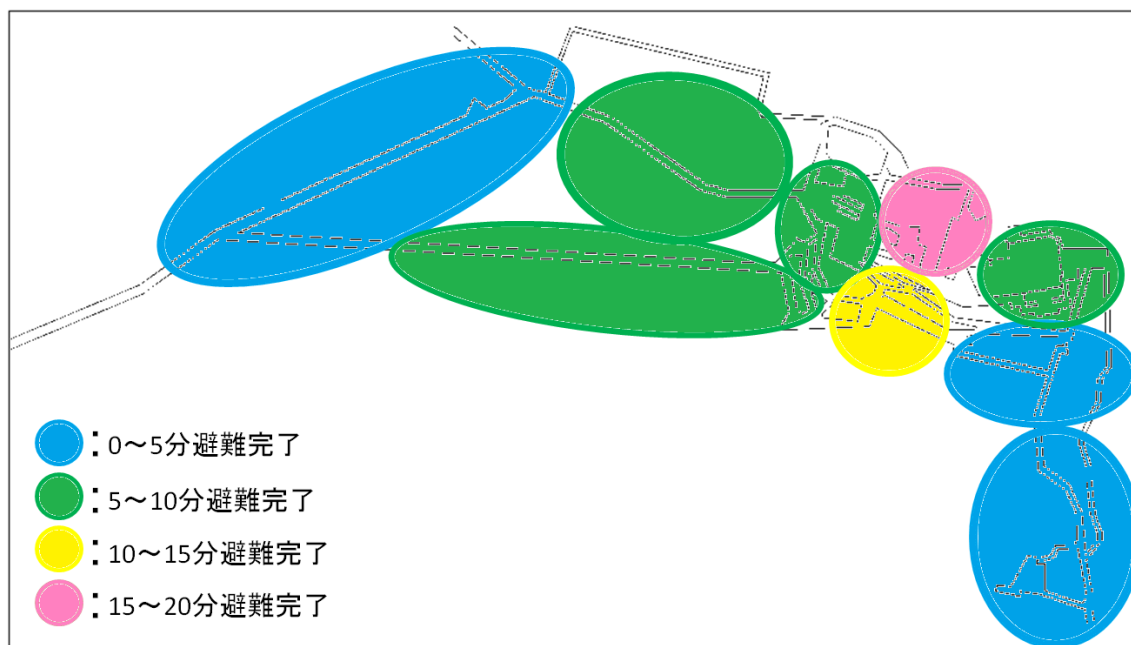


図 5-5. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（火災なし・限界倒壊）

表 5-3. 経過時間別の避難完了人数（松原通上流火災）

時間	避難完了人数					
	倒壊なし	1割倒壊	2割倒壊	限界倒壊	倒壊なし(2方向避難)	限界倒壊(2方向避難)
5分	474	423	344	211	935	875
10分	1727	1586	1502	906	2835	2378
15分	2779	2519	2393	1505	3496	2941
20分	3500	3500	3492	2393	3500	3500
25分	3500	3500	3500	3487	3500	3500

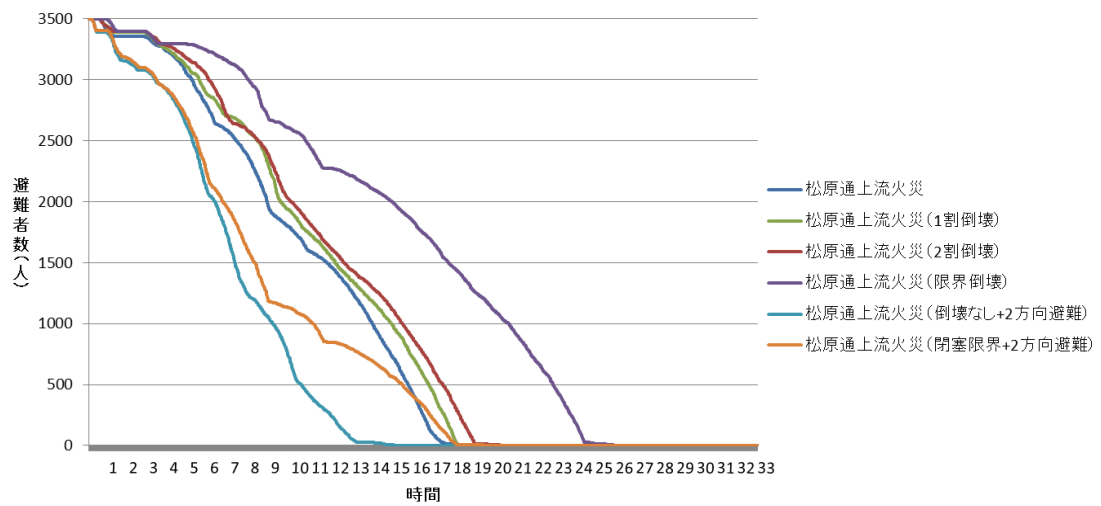


図 5-6. 避難完了状況（松原通上流火災）

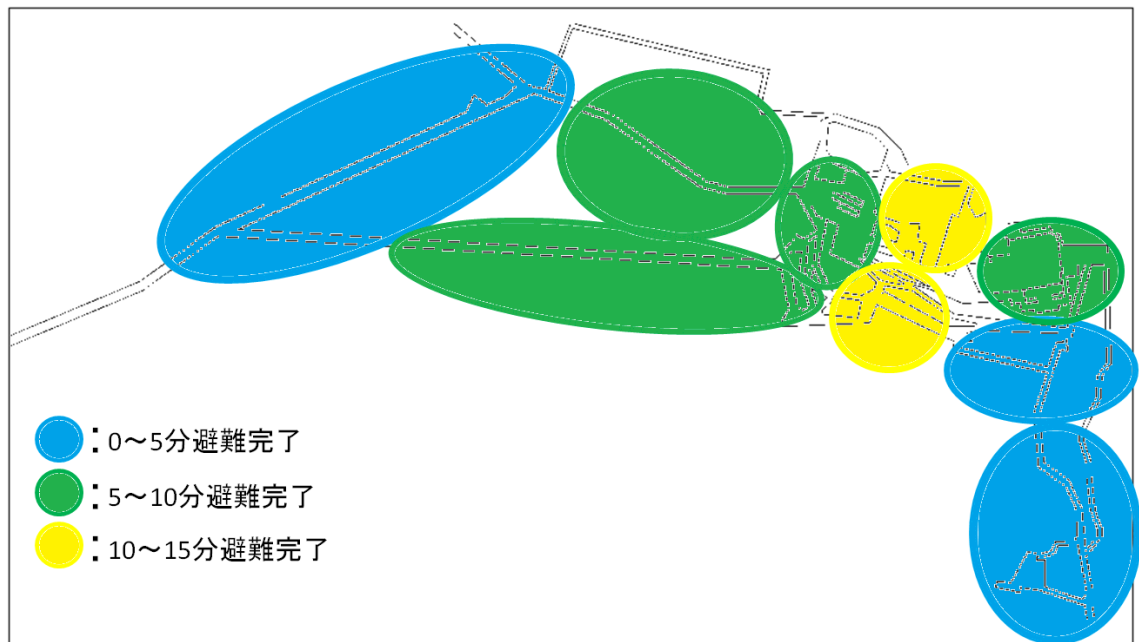


図 5-7. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（松原通上流火災・倒壊なし）

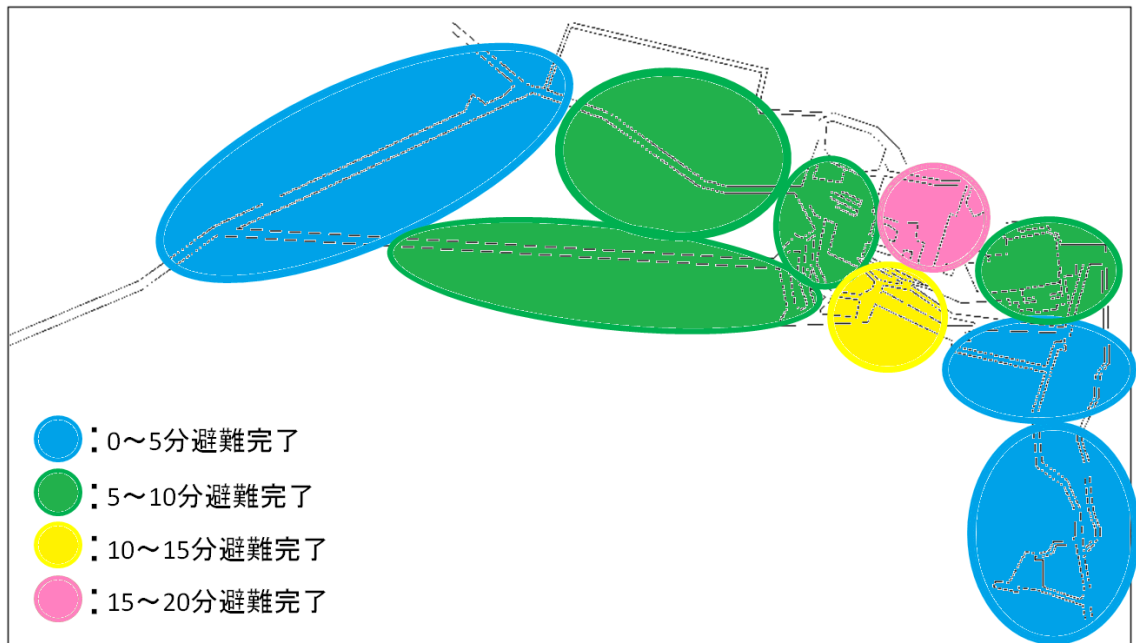


図 5-8. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（松原通上流火災・限界倒壊）

表 5-4. 経過時間別の避難完了人数（松原通中流火災）

時間	避難完了人数					
	倒壊なし	1割倒壊	2割倒壊	限界倒壊	倒壊なし(2方向避難)	限界倒壊(2方向避難)
5分	212	209	237	228	878	834
10分	663	553	487	228	2097	1548
15分	1681	1426	1379	582	2917	1897
20分	3495	3260	2878	1424	3500	2601
25分	3500	3500	3500	2857	3500	3386

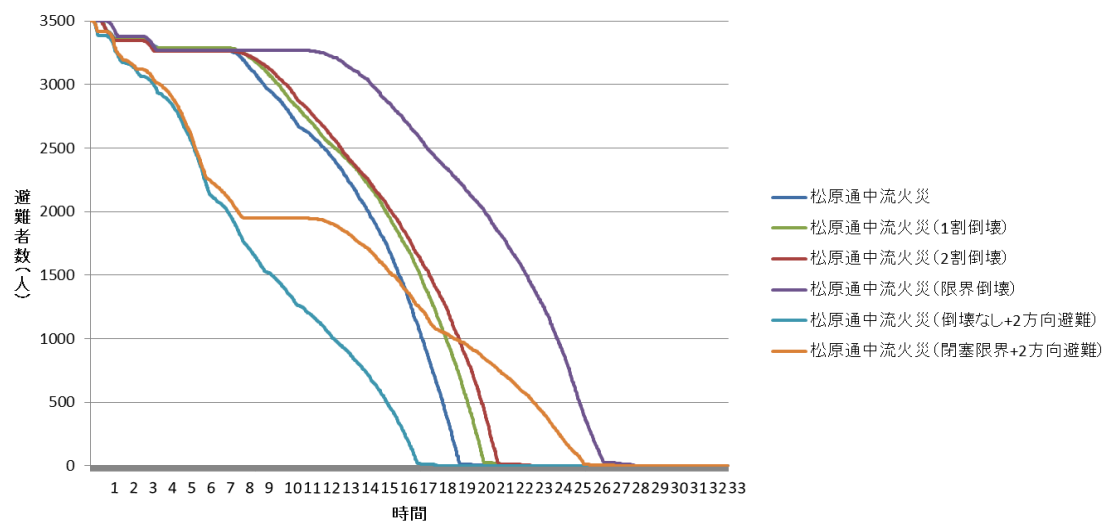


図 5-9. 避難完了状況（松原通中流火災）

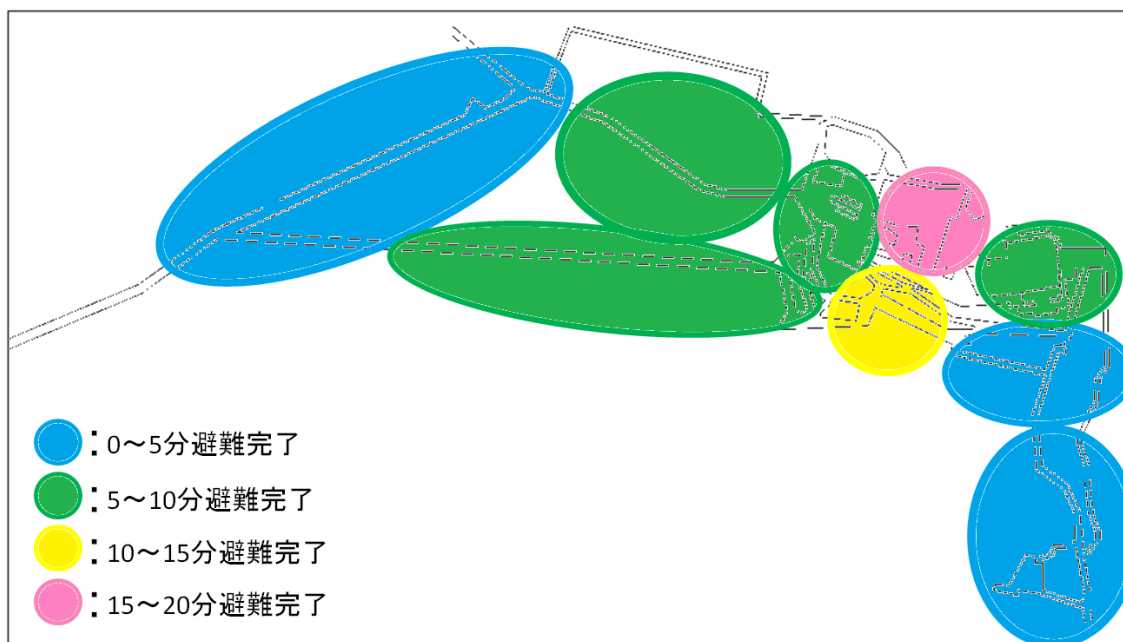


図 5-10. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（松原通中流火災・倒壊なし）

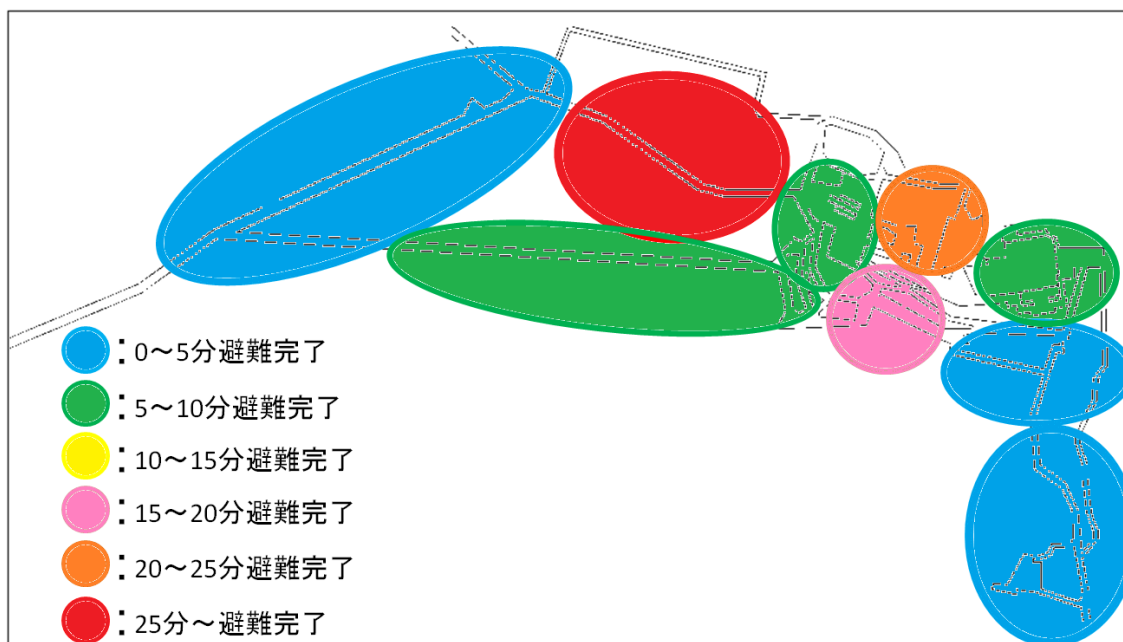


図 5-11. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（松原通中流火災・限界倒壊）

表 5-5. 経過時間別の避難完了人数（松原通下流火災）

時間	避難完了人数					
	倒壊なし	1割倒壊	2割倒壊	限界倒壊	倒壊なし(2方向避難)	限界倒壊(2方向避難)
5分	213	195	200	196	850	901
10分	650	539	441	196	2086	1637
15分	1754	1450	1274	544	2494	1978
20分	3422	2951	2773	1422	3472	2418
25分	3500	3500	3500	2707	3500	2717
30分	3500	3500	3500	3360	3500	3370

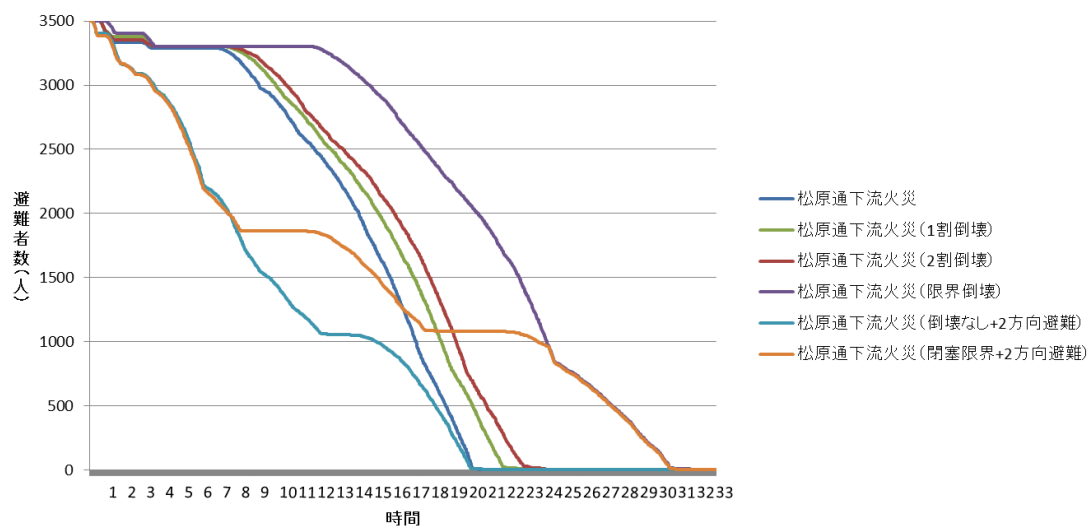


図 5-12. 避難完了状況（松原通下流火災）

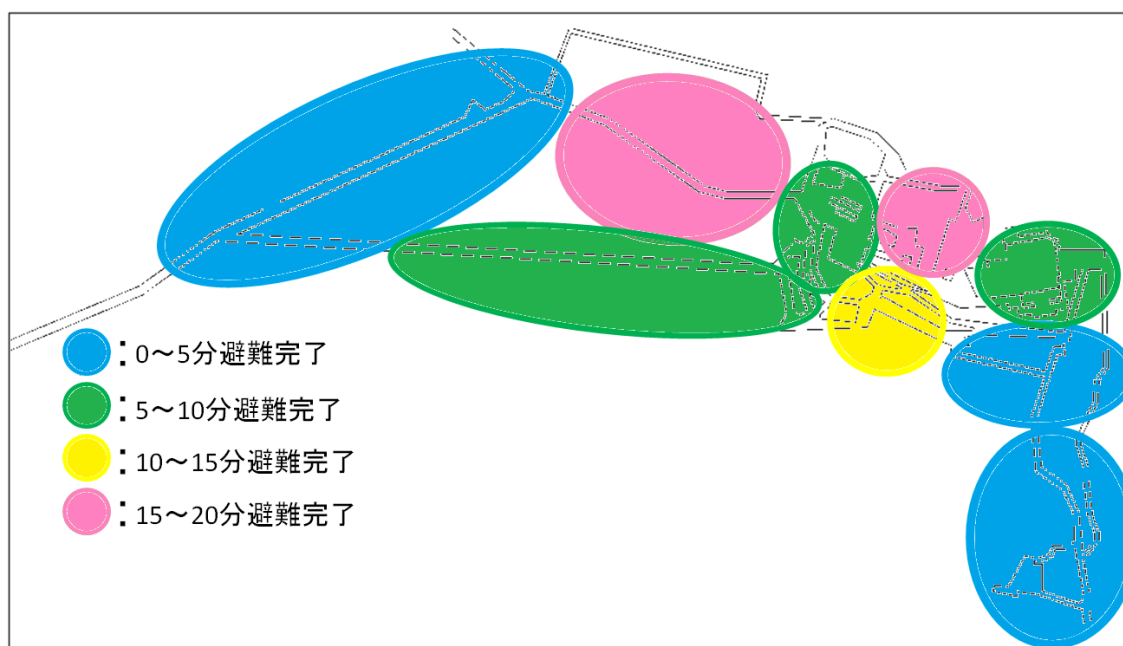


図 5-13. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（松原通下流火災・倒壊なし）

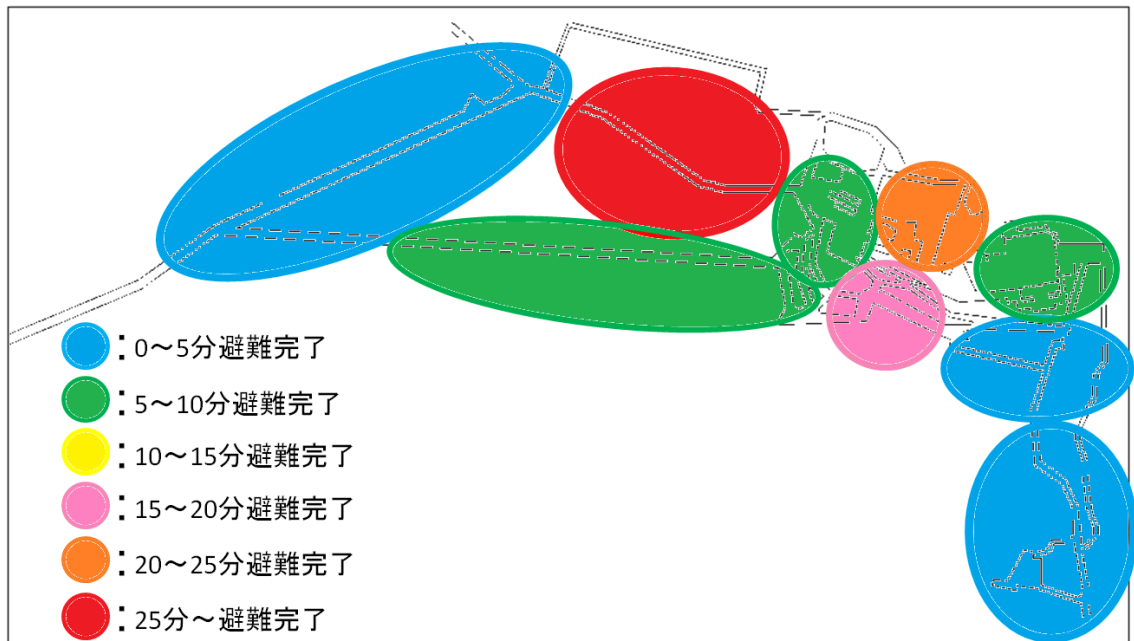


図 5-14. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図（松原通下流火災・限界倒壊）

5.2-2 避難者全員境内最奥付近避難

避難場所を追加し、避難者の避難方向を分散させてだけでは、場合によっては松原通にいる避難者の避難状況が、全く改善されないという事がわかったので、今度は避難開始時に五条坂に居る避難者以外の全員を右下に避難させるよう設定してシミュレーションを行なった。

松原通にいる避難者だけではなく、茶碗坂や仁王門付近に居る避難者も避難場所を変更させたのは、実際に避難誘導を行なう際に、1つの避難場所への誘導の方が、誘導をする方もされるほうもわかりやすく、混乱しにくいと考えられるので、避難場所が1つでも避難がスムーズに進むなら、そちらの方がいいと考えたためである。ただ五条坂に居る避難者は、東大路・駐車場が目視出来るほどの距離におり、1~2分でたどり着けるので、避難場所の変更はしなかった。

また、松原通には約1000人の避難者がいるため、できるだけ広い道を通り、混雑しにくいように設定した。

結果は表 5-6、5-7 および図 5-15、5-16 のようになった。今までのシミュレーションで、最も避難完了時間が早かった火災なし（倒壊なし・2方向避難）のシミュレーションと、最も避難完了時間が遅かった松原通下流火災発生（限

界倒壊)のシミュレーションと比較した。避難完了時間に関しては、松原通下流火災発生(限界倒壊)よりも約20分も早くなり、火災なし(倒壊なし・2方向避難)とほとんど同じという結果になった。しかし経過時間別の避難完了人数に関しては、火災なし(倒壊なし・2方向避難)の結果と比べると、避難開始10分経過時点での避難完了人数が、約550人少ない結果となった。これは茶碗坂、松原通の避難者の避難が、避難場所が遠くなったことで遅くなった為と考えられる。図5-16を見ればわかるように、避難が最も遅れるのは、茶碗坂・松原通にいる避難者であり、避難が最も早かった火災なし(倒壊なし・2方向避難)と比べると4~5分程度避難が遅れる結果となった。

表 5-6. 経過時別避難完了時間

	避難完了時間
火災なし(倒壊なし・2方向避難)	13分07秒
松原通下流火災(限界倒壊)	32分20秒
全員境内最奥付近避難	12分49秒

表 5-7. 経過時間別の避難完了人数

時間	避難完了人数		
	火災なし(倒壊なし・2方向避難)	松原通下流火災(限界倒壊)	全員右下避難
5分	979	196	994
10分	3163	196	2607
15分	3500	544	3500
20分	3500	1422	3500
25分	3500	2707	3500
30分	3500	3360	3500

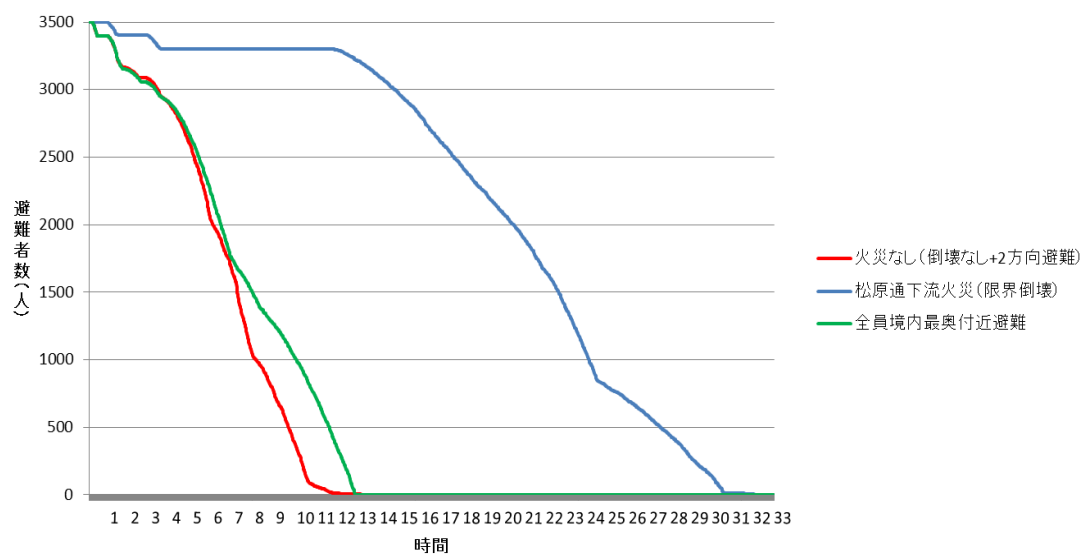


図 5-15. 避難完了状況

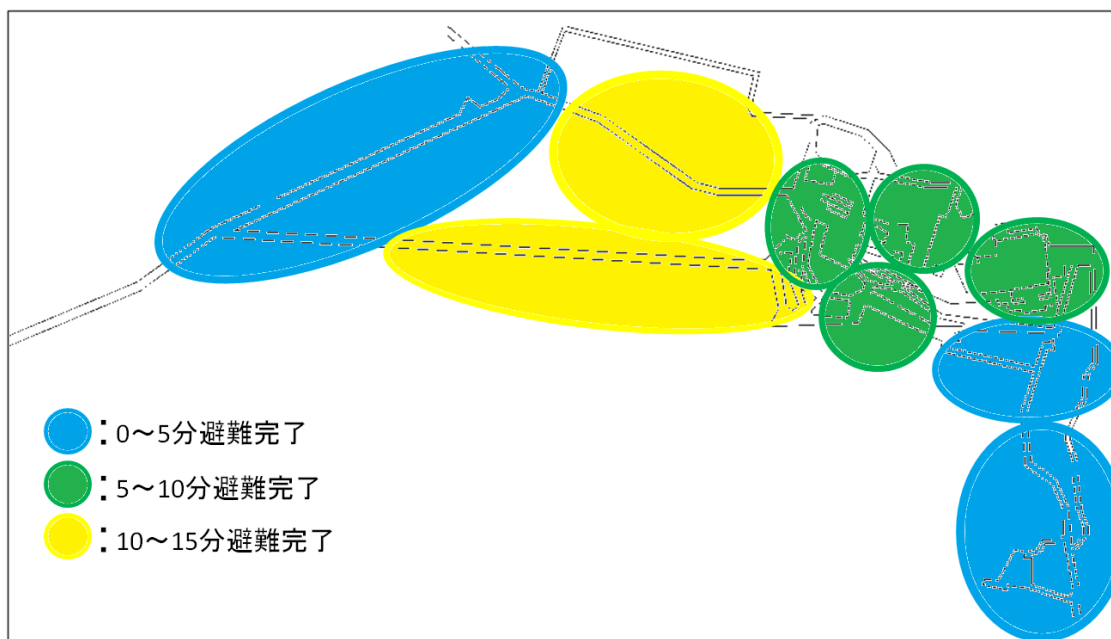


図 5-16. 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布図

5.3 避難誘導方法の提案

これまでの結果より、五条坂に居る避難者と、火災発生で松原通が通行不可能になった地点より東大路・駐車場に近い側に居る松原通の避難者は、東大路・駐車場に、それ以外の避難者は境内最奥付近に避難させる避難誘導を、清水寺周辺地域で火災が発生した際の観光客に対する適切な避難誘導方法として提案する。

火災や家屋倒壊が起きていなければ、松原通や茶碗坂に居る観光客は、東大路・駐車場に避難したほうが早く避難できる。しかし、京都市第3次地震被害想定データを見ると、火災や家屋倒壊が起きる可能性は極めて高く、避難開始時には発生していなくても、避難途中に家屋が倒壊する危険性もあり、火災発生の有無がわからなくても、火災発生を想定した避難誘導を行ったほうが、より安全であると考えられる。

よって、まず五条坂に居る避難者と、火災発生で松原通が通行不可能になった地点より東大路・駐車場に近い側に居る松原通の避難者は駐車場・東大路に避難させる。それ以外の避難者はいったん全員を境内最奥付近に避難させ、安全を確保する。そしてある程度状況が落ち着いた後に、自警団の方々の協力を得て、広域避難所である円山公園、避難所である清水小学校や東山地域体育館へ誘導して貰いたい。以上のような方法を、清水寺周辺地域で火災が発生した際の観光客に対する適切な避難誘導方法として提案する。

5.4 結語

本章では第4章で述べたシミュレーションモデルの結果をもとに、清水寺周辺地域において地震火災が発生した際の観光客に対する適切だと思われる避難誘導方法の検討・提案を行った。

第6章 結論

6.1 本研究の成果

本研究では清水寺周辺地域を対象として、地震火災が発生した際の避難者の避難行動をコンピュータ上のシミュレーションによって再現し、その結果をもとにして観光客に対する適切な避難誘導方法の検討・提案を行なった。主な結論を以下に示す。

(1) 火災の有無が避難状況に与える影響について

火災が発生しない場合は、約 17 分 30 秒で避難が完了したが、松原通において火災が発生すると、火災発生箇所が上流になっていくにつれて徐々に避難完了時間が遅れていき、最終的には約 21 分 30 秒となり、火災が無い場合と比べると約 4 分避難が遅れることがわかった。また、避難完了状況が、火災発生箇所が中流だった場合を境にして、大きく悪化することがわかった。これは、火災発生箇所が中流付近になると、ひどい混雑が発生するということと、火災発生箇所下流付近になると、避難開始時に避難場所から最も遠い場所である子安の塔付近に滞在している避難者が混雑に巻き込まれ、避難が遅れる事が原因であることがわかった。

(2) 家屋倒壊による道路閉塞が避難状況に与える影響について

松原通および茶碗坂で家屋が倒壊した場合、火災発生箇所が下流になるにつれて、倒壊による影響が強くなるということがわかった。これは、避難開始時に松原通に居る避難者が、火災発生箇所まで一度行ってから引き返すような設定にしたために、火災発生箇所が下流になるにつれて、松原通に居る避難者に対する家屋倒壊による道路閉塞の影響が強くなっていき、避難完了時間が遅れていくことが原因であると思われる。また、避難完了時間に関しては、1 割・2 割倒壊しただけでは、あまり変化は無かったが、経過時間別の避難完了人数を見ると、火災なし・松原通上流火災発生の場合は、避難開始から 10 分以降、松原通中流火災発生・松原通下流火災発生の場合は避難開始から 15 分以降、倒壊なしの場合と比べると避難完了人数に大きな差が出てくることがわかった。これに関しても、避難開始時に松原通に居る避難者の避難が遅れたことが原因であると考えられる。

(3) 避難場所として境内最奥付近を追加することによる避難状況の変化について

避難開始時に、東大路・駐車場よりも境内最奥付近に近い場所に居る避難者を全て境内最奥付近に避難させたところ、ほとんどの場合において、避難状況は改善され、避難完了時間も短縮された。しかし、松原通中流火災発生時の限界倒壊と、松原通下流火災発生時の倒壊なしと限界倒壊の場合は、避難場所を追加して避難者の避難を分散させることによって、早い段階に多くの避難者を避難させることは出来たが、避難開始時に松原通にいる避難者に関しては、避難状況が改善されず、避難完了時間に関しては改善されないという結果となった。

(4) 五条坂にいる避難者以外全員を境内最奥付近に避難させた場合について

避難開始時に五条坂に居る避難者以外全員を境内最奥付近に避難させたところ、最も避難完了時間が遅かった松原通下流火災発生（限界倒壊）の場合と比べると、避難完了時間は 20 分弱早くなり、経過時間別の避難完了人数に関しては、5 分経過で約 800 人、10 分経過で約 2400 人、15 分経過約 3000 人も避難完了人数が多いことがわかった。火災なし（倒壊なし・2 方向避難）の場合と比べた場合、避難完了時間はほぼ同じであったが、経過時間別の避難完了人数に関しては、避難開始時に松原通・茶碗坂にいる避難者の避難が遅くなった為に、避難開始 10 分経過時の避難完了人数が少なくなる結果となった。

(5) 観光客に対する適切な避難誘導方法の提案

五条坂に居る避難者と、火災発生で松原通が通行不可能になった地点より東大路・駐車場に近い側に居る松原通の避難者は駐車場・東大路に避難させる。それ以外の避難者は全員をいったん境内最奥付近に避難させ、安全を確保する。ある程度状況が落ち着いた後に、自警団の方々の協力を得て、広域避難所である円山公園、避難所である清水小学校や東山地域体育館へ誘導していってもらう。以上のような方法を、清水寺周辺地域で火災が発生した際の観光客に対する適切な避難誘導方法として提案した。

6.2 今後の課題と展望

本研究では様々な条件を仮定した上でシミュレーションモデルを構築した。そのため、実際には起こり得ることをいくつか考慮しておらず、多くの課題を残すことになった。それらの課題を以下にまとめる。

① 延焼が避難に与える影響について

本研究では延焼については考慮していない。これは、第 3 章でも述べたように、延焼が本格的に広がる前に避難者の避難が完了するだろうと考えたからだ。が、実際には延焼の影響が全く無いとは言えない。今後は延焼が避難に与える影響についても考慮していく必要があると考えられる。

② 同時多発火災が発生した場合のシミュレーションモデルの構築

本研究では 1 箇所から火災が発生する場合しか想定していないが、大地震が発生した場合には同時多発火災が発生する可能性が高いと思われる。同時多発火災が発生した場合、1 箇所からの火災よりもさらに利用できる避難経路が限られてくる。場合によっては本研究で避難場所として設定した場所に辿り着くことが出来なくなる避難者が出てくる可能性もある。よって今後はこれらも考慮した避難シミュレーションモデルを構築していく必要があると考えられる。

③ 火災発生箇所の多様化

本研究では松原通において火災が発生した場合を考えたが、実際には他の箇所で火災が発生する場合も当然あり、その場合は今回の結論とは違った避難誘導方法が必要になってくる。今後は茶碗坂や五条坂、境内からの出火も想定したシミュレーションを構築し、そのそれぞれの場合において避難者の挙動を把握したうえで、最適な避難誘導時方法を再検討する必要があると考えられる。

④ 避難者の完全なランダム配置

本研究では、プログラミングの問題上、避難者を完全にランダム配置することが難しく、何か所かにまとめて避難者を配置した。完全なランダム配置を行うことができれば、より精度の高い結果を得ることができると考えられる。

⑤地形などの地域特性をよりふまえたモデル構築

本研究では、避難速度に変化がおきるのは、階段だけであり、坂道での変化は考慮しなかった。また、実際の避難時には、階段・坂道・狭い通路などでは、避難者の転倒などが起こる可能性もあるが、これもまた考慮しなかった。延焼を考慮しなかったように、本研究では、火災によって発生するであろう煙についても考慮しなかった。しかし、松原通や茶碗坂で火災が発生した場合、煙は上、つまり清水寺のほうに昇っていくことが考えられる。これらのような、対象地域の地形などの地域特性をよりふまえたモデルを構築し、シミュレーションを行なうことによって、より精度の高い結果が得られるものと考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、熱心かつ丁寧にご指導いただきました防災システム研究室 伊津野和行教授、防災システム研究室 川崎佑磨助教 橋梁工学研究室 野阪克義准教授、に心より感謝申し上げます。

また、自分達の研究で忙しい中、時間と労力を惜しまず協力してくれた防災システム研究室のM2の皆様に心から感謝します。