２０１４年度

修 士 論 文

論題

重要伝統的建造物群保存地区における災害時避難に関する研究

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 環境都市　専攻	
学生証番号	6141130002-0
氏　　名	石井　健太郎

要旨

地震大国である日本は、昔から地震による影響を受けてきた。その中でも、地震が発生したことによって生じる地震火災などの二次災害が、これまでも多くの被害を出した。このような被害を少なくするために、建物の対火性能の向上や消火設備の充実といったハード対策がなされてきている。しかし、本研究で対象としている重要伝統的建造物群保存地区に指定されている地区ではハード面の対策が困難である。そこで重要となってくるのがソフト面の対策であり、災害時に迅速かつ安全に避難ができるような避難計画の作成が必要となる。本研究では岐阜県高山市の重要伝統的建造物群保存地区に指定されている「三町」と「下二之町大新町」において、地震火災が起こった時の対策として artisoc を用いることで避難シミュレーションを行い、安全な避難経路や避難場所の検討を行った。

目次

第 1 章　序論
1.1　概説・・・

4.3.2　シミュレーション結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・42
4.3.3　考察　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43
4.4　東地区における避難シミュレーション・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・44
4.4.1　シミュレーション内容・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・44
4.4.2　シミュレーション結果(指定避難場所)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・45
4.4.3　考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・45
4.4.4　シミュレーション結果(設定避難場所)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・49
4.4.5　考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・50
4.5　東地区における避難誘導の提案・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・54
4.5.1　避難看板について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・54
4.5.2　シミュレーション結果(避難誘導あり)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・55
4.5.3　考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・55
第 4 章の参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・59

第 5 章　結論
5.1　概説・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・60
5.2　まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・60
5.3　今後の課題と展望・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・61

謝辞

第1章　序論

1.1　概説

本章では、本研究に至った背景、及び本研究の目的について述べる。

1.2　研究の背景

地震大国である日本は、昔から地震による影響を受けてきた。その中でも、地震が発生したことによって生じる地震火災などの二次災害が、これまでも多くの被害を出した。大正 12 年(1923 年)に発生した関東大震災では、地震発生直後から火災が発生し、焼死者 52178 名、焼失建物 219012 棟の被害を出した [1)]。また、1995 年に発生した阪神淡路大震災では、焼死者 560 人、焼失建物 7121 棟の被害を出した [2)]。1993 年に発生した北海道南西部地震では、津波と火災によって死者・行方不明者 198 名、住家全壊 437 棟、半壊 88 棟、一部損壊 827 棟の被害を出した [3)]。また、2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震では、津波と火災によって死者・行方不明者 21707 名、住家全壊 127361 棟、半壊 273268 棟、76277 棟の被害を出した [4)]。

このような被害を少なくするために、建物の対火性能の向上や消火設備の充実といったハード対策がなされてきている。しかし、本研究で対象としている重要伝統的建造物群保存地区に指定されている地区では、文化財に指定されている建物も存在し、町並み保存の活動が活発に行なわれているため、ハード面の対策が困難である。

また、重要伝統的建造物群保存地区はその町並み故に、観光地となっている所が多く、観光客も多く訪れる。万が一そのような場所で火災が発生した場合、火災の拡大が危惧される上、大量の人が一斉に存在することから混雑などを引き起こし混乱に陥る恐れも考えられる。そこで重要となってくるのがソフト面の対策であり、災害時に迅速かつ安全に避難ができるような避難計画の作成が必要となる。

1.3　既往の研究

ここでは、本研究に関係する従来研究について簡単にまとめる。

・西野ら [5)]は関東大震災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示している。

・岡田ら [6)]らは大震火災による過密都市の被災状況を計算機によりシミュレートする一般的システムを開発し、それによって現在の大都市の危険性を定量的に把握すると共に、どの

ように改造すれば、どれだけ安全になるか明らかにし、都市の防災性能を高めていくための計画を具体的に見出した。

・森脇ら [7]はより現実的で汎用性のある大震火災時の広域避難シミュレーションシステムを開発し、火災からできるだけ速やかに、しかも安全に避難する日常の学習、訓練、避難誘導等や効果的な消火力の運用を行い、一評価手法を確立した。

・小坂ら [8]らは既往の人間行動に関する観測や災害事例研究から基本的な広域避難モデルを構築し、そのモデルを大正 12 年関東地震の下町に適応させ、その結果から住民の広域避難に関する行動特性のうち、これまで未解明であった避難開始時期や歩行速度について数量的に明らかにし、より現実的な広域避難モデルを提案した。

・小林 [9]は社会シミュレーションモデル構築用言語 SOARS 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。

・近藤 [10] はマルチシミュレーションソフト artisoc を用いて、東日本大震災の津波により被災した地域を対象として津波避難シミュレーションを実施し、避難開始時間の違いや、避難箇所の設定パターンの違いなど、津波からの避難率について種々の検討を行った。

1.4　研究目的

岐阜県高山市には古くからの町並みが残っており、重要伝統的建造物群保存地区に指定されている。そのため、近年、高山市は年間を通して多くの観光客で賑わう岐阜県有数の観光地でもある。ここ数年は大きな災害がこの地域で発生した事例は無いが、高山市には高山断層帯があり、最新活動時期などが不明な点から、今後 30 年以内に M7.6 以上の地震が発生する可能性が高く、火災などの二次災害が予想される [11]。そんな事態に備えるためにも安全な避難経路や避難場所を設置するなどの対策が必要である。

本研究では岐阜県高山市の重要伝統的建造物群保存地区に指定されている「三町」と「下二之町大新町」において、地震火災が起こった時の対策として artisoc を用いることで避難シミュレーションを行い、安全な避難経路や避難場所を検討することを目的とする。

第 1 章の参考文献

1)関東大震災　地図と写真のデータベース,2008 年
http://www.himoji.jp/database/db06/damage-fire.html　(2014 年 2 月 10 日閲覧)

2)独立行政法人　防災科学研究所　自然災害情報室：防災基礎講座,2008 年
http://dil.bosai.go.jp/workshop/02kouza_jirei/s17fire/jishinkasai.htm　(2014 年 2 月 10 日閲覧)

3)北海道水産林務部漁港漁村課 : 北海道南西部地震災害と復興の概要　～奥尻島の被災と復興～,2011 年
http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gkg/hokkaidonanseiokijisinsaigaitohukkou-NO.1.pdf　(2014 年 2 月 10 日閲覧)

4)消防庁災害対策本部：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 150 報),2011 年
http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou/pdf/jishin/150.pdf　(2014 年 2 月 10 日閲覧)

5)西野智研,円谷信一,樋本圭佑,田中哮義：関東大震災における東京市住民避難性状の推：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

6)岡田光正,吉田勝行,柏原士郎,辻正矩：大震火災による人的被害の推定と都市の安全化に関する研究,　日本建築学会論文報告集,　第 275 号,　141-148,　昭和 54 年 1 月

7)森脇哲男,松本博文,江田敏男：大震火災時の避難シミュレーション,　日本建築学会論文報告集,　第 341 号,　142-149,　昭和 59 年 7 月

8)小坂俊吉,堀口孝男：広域避難シミュレーション手法による大震火災時の群集行動解析,土木学会論文集,　第 365 号,　51-59,　1986 年 1 月

9)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,　2010 年

10)近藤智：東日本大震災の被災地区における津波避難安全性評価に関する研究,　立命館大学大学院　理工学部創造理工学専攻　修士論文,　2012 年

11)地震調査研究推進本部：高山・大原断層帯,2015 年
http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/katsudanso/f048_takayama_oppara.htm　(2015 年 2 月 10 日閲覧)

第 2 章　研究対象地域について

2.1　概説

本章では、研究対象地域である岐阜県高山市の重要伝統的建造物群保存地区とその地域で予想される災害について述べる。

2.2　岐阜県高山市

岐阜県高山市は 2005 年 2 月 1 日に周辺の 9 町村を編入合併したことで面積が 2,177.67 ㎢と非常に広大な市域となった [1)]。この合併により、それまで日本一の面積があった市の静岡県静岡市や町村の北海道足寄郡足寄町を抜き、日本で最も広い市町村となった。また、高山市の面積は香川県や大阪府よりも広く、東京都とほぼ同じとなっており、府県の面積よりも広い市町村は全国で唯一である。ただし、山林が市域の 92%あまりを占めているため可住面積は限られる。また岐阜県高山市の中心市街地には江戸時代以来の城下町・商家町の姿が保全されており、その景観から「飛騨の小京都」と呼ばれている。全国各地から年 300 万人の人が観光に訪れ、最近は日本国外からの観光客も増加している。

図 2.1　高山市の位置 [2)]

2.3　対象地域

本研究では岐阜県高山市の中でも「三町」と「下二町大新町」の二つ地域を対象としており、これらの地域は昭和 52 年 3 月 30 日に重要伝統的建造物群保存地区に指定された。この地域では伝統的な木造の建物が道路に沿って立ち並び、民家として利用されている家屋もあれば食べ物などを売る店としても利用されている。そのためこの地域は観光客で賑わい、活気に満ちている。また建造物の中には重要文化財に指定されているものもあり、町並み保存の活動も活発に行われている。図 2.3-2.6 は、2012 年 9 月に実際に現地を訪れ撮影した町並みの様子である。

岐阜県には多くの活断層が存在し、1891 年の濃尾地震のように M8.0 を超える地震も発生している。その際この高山市の重要伝統的建造物群保存地区でも 1000 棟以上が焼失する大規模な火災が起こり、多くの被害が出た。火災が広がる原因として木造の建物が多いのはもちろんだが、建物同士がほぼ密着して立ち並んでいることも挙げられる。高山市で過去に起こった火災年表を表 2.1 に示す。

また近年では大雨などの異常気象によって岐阜県を流れる宮川で河川氾濫が起こっている。最近の事例では、2014 年 8 月に起きた台風によって河川氾濫が起こり、高山市では約 9000 世帯 2 万 2000 人に避難勧告が出た。大きな被害が出たことはまだないが、対象地域の南側にも宮川が通っているので今後被害が出ることが懸念される。高山市における過去の洪水被害を表 2.2 に示す。

図 2.2　対象地域(google マップに加筆)

図 2.3　町並みの様子(三町)

図 2.4　町並みの様子(三町)

図 2.5　町並みの様子(下二之町大新町)

図 2.6　町並みの様子(下二之町大新町)

表 2.1　高山市における過去の火災年表(明治以降)[3)]

年号	西暦	月日	時間	焼失棟数	火元	被害内容
明治 5 年	1872	2 月 14 日	夜七つ半時	721	上向町	土蔵作小屋より出火、応龍台焼失
明治 6 年	1873	8 月 21 日	不明	1	高山馬場通り	製銅場、流場焼失
明治 6 年	1873	8 月 21 日	不明	12	大新町	
明治 8 年	1875	4 月 24 日	午前 11 時 30 分	1032	二之町家屋	三町、別院他 9 カ寺、八幡。浦島台(大新町 1)、牛若台(寺内)、文政台(下一之町)、下二之町
明治 25 年	1892	12 月 8 日	午前 3 時 30 分	54	一之町 3 丁目	二之町、一之町
明治 28 年	1895	6 月 27 日	午後 9 時 30 分	43	天性寺町	
明治 38 年	1905	9 月 8 日	午前 1 時 30 分	14	二之新町裏	吉島家焼失、日下部家一部焼損
大正 2 年	1913	10 月 31 日	午後 10 時 30 分	115	一之町 2 丁目	一之町 1 丁目、魚屋町、馬場通り、城坂通り
大正 4 年	1915	11 月 16 日	午前 1 時 40 分	13	高山町役場前	一之町、二之町南端
大正 6 年	1917	7 月 7 日	午前 0 時 20 分	47	七日町天の皮	七日町
大正 6 年	1917	11 月 14 日	午前 5 時 30 分	15	八幡町	八幡町
大正 11 年	1922	1 月 14 日	午前 2 時	1	飛騨製材	工場全焼
大正 11 年	1922	9 月 2 日	午後 2 時	1	桐生製糸場	花里
大正 13 年	1924	2 月 28 日	午後 1 時 20 分	246	町方字天の皮	百軒町、下向町

表 2.1　高山市における過去の火災年表(明治以降)　続き

年号	西暦	月日	時間	焼失棟数	火元	被害内容
大正 15 年	1926	4 月 2 日	不明	78	空町	空町
大正 15 年	1926	5 月 30 日	不明	1	西尋常高等小学校	西尋常高等小学校全焼
昭和 11 年	1936	7 月 28 日	不明	48	文右衛門坂付近	文右衛門坂付近
昭和 12 年	1937	8 月 21 日	不明	3	花里町	工場 3 棟全焼
昭和 15 年	1940	9 月 25 日	不明	1	斐太中学	寄宿舎 2 棟失火全焼
昭和 18 年	1943	5 月 11 日	不明	31	七日町 3 丁目	七日町地内
昭和 22 年	1947	4 月 21 日	不明	40	別院高山幼稚園	別院本堂、食堂、大門、専念寺、真蓮寺全焼、了泉寺半焼、鉄砲町、寺内の 1 部に類焼
昭和 24 年	1949	4 月 4 日	不明	33	桜町	罹災 116 世帯
昭和 26 年	1951	1 月 20 日	不明	1	千島霊泉寺	千島霊泉寺
昭和 26 年	1951	9 月 11 日	不明	2	七日町 2 丁目	七日町二丁目、5 世帯罹災
平成 8 年	1996	4 月 4 日	午前 0 時 21 分	7	上三之町	土蔵が防火帯として機能、扉開放土蔵焼損
平成 20 年	2008	4 月 13 日	午前 8 時 49 分	3	上一之町	屋台蔵

表 2.2　高山市における過去の洪水被害 (昭和以降)[4)]

洪水発生年月日	洪水理由	床下浸水(戸)	床上浸水(戸)
昭和 10 年 6 月 26 日	集中豪雨	不明	不明
昭和 20 年 10 月 9 日	集中豪雨	不明	不明
昭和 22 年 7 月 9 日	集中豪雨	不明	不明
昭和 33 年 7 月 25 日	集中豪雨	不明	不明
昭和 34 年 9 月 26 日	伊勢湾台風	不明	不明
昭和 35 年 8 月 30 日	台風 16 号	不明	不明
昭和 44 年 6 月 24 日	集中豪雨	18	1
昭和 47 年 7 月 9 日	集中豪雨	14	4
昭和 51 年 9 月 12 日	台風 17 号	95	25
昭和 58 年 9 月 28 年	台風 10 号	87	21
平成 4 年 7 月 15 日	集中豪雨	44	0
平成 11 年 6 月 30 日	集中豪雨	10	46
平成 11 年 9 月 15 日	台風 16 号	148	209
平成 16 年 10 月 20 日	台風 23 号	273	258

2.4　対象地域内の構造別分類

研究対象地域内の状況を知るため、2012 年 9 月と 12 月に実際に現地を訪れた上でそれぞれの建物の構造別分類を行なった。構造別分類の方法として対象地域を三町と下二之町大新町の二つのエリアに分け、写真を撮ったエリア内の建物を構造形式別に分類する。

構造形式は伝統構法、在来工法、伝統・在来混合工法、RC・S 造、その他の 5 つに分けた。なお図 2.7 では三町を A、下二之町大新町を B としている。

エリア別の構造別分類の結果を図 2.8 および表 2.2 に示す。この結果を見ると A、B のエリアにおいて木造で建てられた家屋の割合が全体の 9 割近くを占めていることが分かる。このことからも A、B のエリアはハード面において災害脆弱性が高く、災害時の避難行動といったソフト面が重要になってくると考えられる。

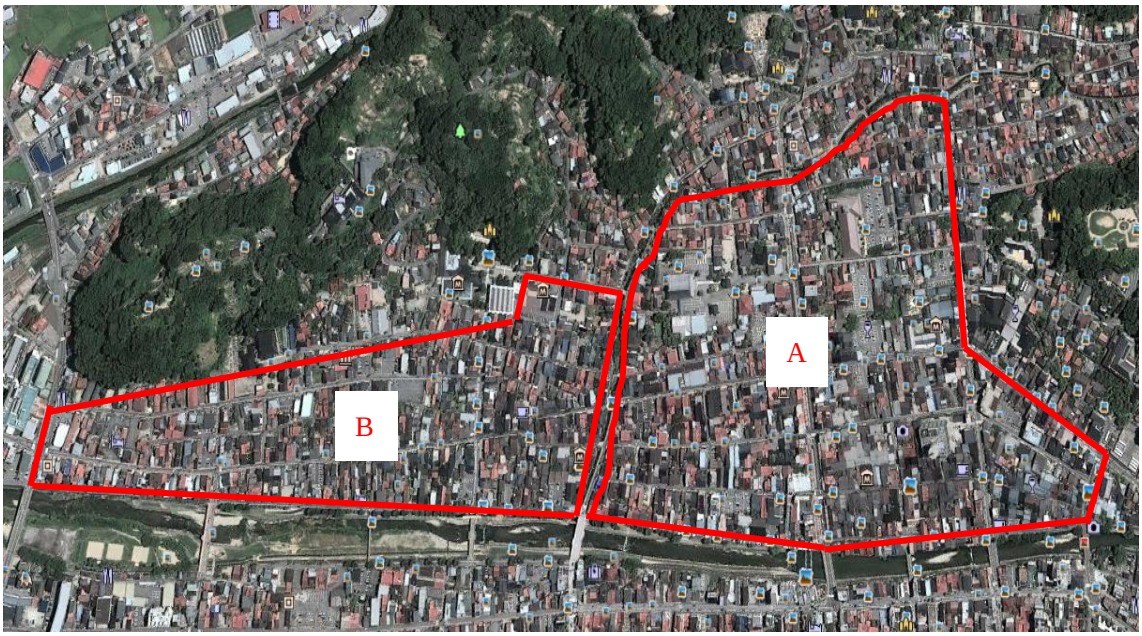

図 2.7　構造別分類を行ったエリア(google マップに加筆)

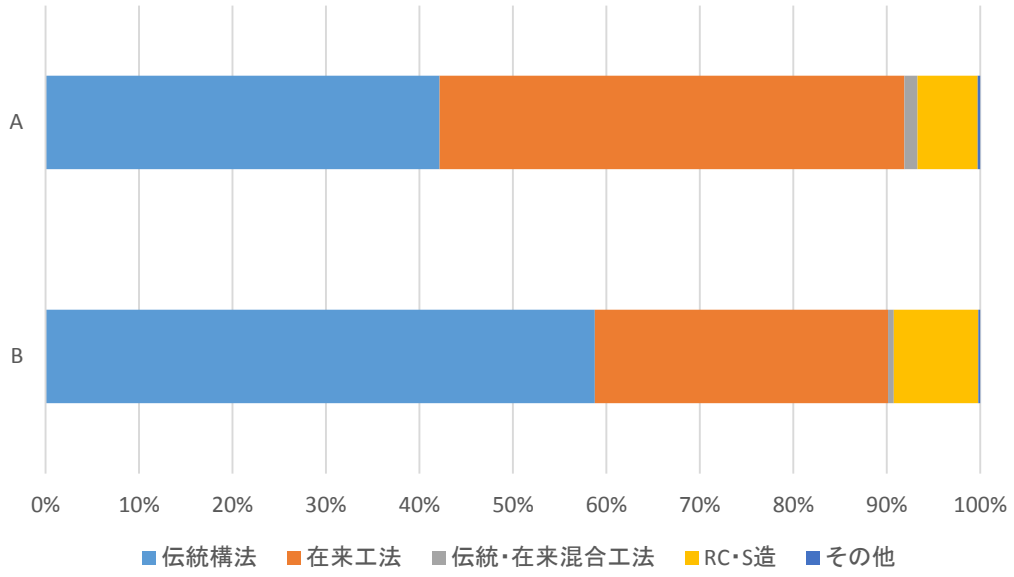

図 2.8　エリア別の構造別分類

表 2.2　エリア別の構造別分類表

構造形式	A	B	合計
伝統構法	301	292	593
在来工法	355	156	511
伝統・在来混合工法	10	3	13
RC・S 造	46	45	91
その他	2	1	3

図 2.9　伝統構法　2 階建て

図 2.10　伝統構法　3 階建て

図 2.11　在来工法　2 階建て

図 2.12　RC、S 造　3 階建て

第 2 章の参考文献

1)　高山市：高山市の概要
http://www.city.takayama.lg.jp/kikaku/gaiyou.html　(2014 年 1 月 30 日閲覧)

2)　ゼンリンマップ
https://www.google.co.jp/maps/place/%E5%B2%90%E9%98%9C%E7%9C%8C%E9%AB%98%E5%B1%B1%E5%B8%82/@36.1452947,137.2035359,10z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x6002a342a14fc349:0xd4f2fb84f0b8e3dc　(2014 年 1 月 30 日閲覧)

3)　高山市史下巻：高山の火災年表,1952 年

4) 宮川流域総合治水対策検討委員会：宮川流域における総合的な治水対策プラン
http://www.pref.gifu.lg.jp/kensei-unei/seisaku-plan/kensei-shuyo-vision/kasen/goryuso.data/miyagawa.pdf　(2014 年 1 月 30 日閲覧)

第 3 章　避難シミュレーションモデルの構築

3.1 概説

本章では、用いたシミュレーションソフト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ていく。

3.2　artisoc について

本節では、本研究で使用したソフトウェアである artisoc[1)]というマルチエージェント・シミュレータの概要、概念について述べていく。

3.2.1　artisoc の概要

本研究の避難シミュレーションモデルの構築には、マルチエージェント･シミュレータ「artisoc」を用いた。artisoc(artificial societies)は株式会社構造計画研究所によって開発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全体がひとつの秩序を形成するシミュレータのことである。それによって、現実世界に近い環境をコンピュータ上で再現することが可能である [2)]。

3.2.2　artisoc の概念

artisoc を構成する基本的な要素として、行動の主体である「エージェント」、エージェントの性質や役割を表す「変数」、エージェントの行動を設定する「ルール」、エージェントが行動するための「空間」、そしてシミュレーション全体を動かす「ルール」及び「変数」が存在する。artisoc のシミュレーション構築の基本的な流れは

① 「空間」を設定
② 「エージェント」の生成
③ 「変数」を設定
④ 「ルール」を書き込む
⑤ シミュレーションを動かす

というようになっている。

この中でも最も重要になってくるのが④のルールを書き込む作業である。「ルール」は図 3.1 のような画面において、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」に使われている言語は、基本的には Microsoft 社の Visual Basic に沿っている。

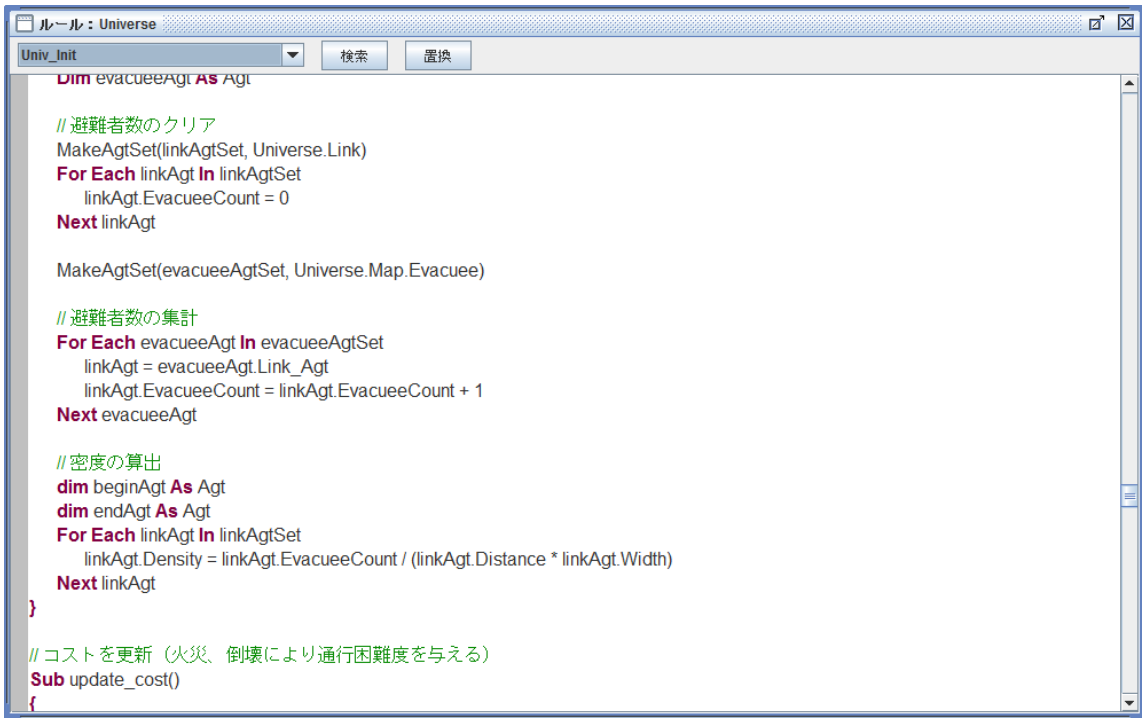

図 3.1　ルールの構築画面

3.3　モデル化

本節では、artisoc を用いた対象地域の道路ネットワークのモデル化や、避難者となる避難者エージェントの設定方法や行動ルールなど、避難シミュレーションの設定内容について述べていく。

3.3.1　対象地域の設定

本研究の対象地域の道路ネットワーク図を図 3.2 に示す。モデル化の対象地域は岐阜県高山市の重要伝統的建造物群保存地区に指定されている「三町」、「下二之町大新町」とする。シミュレーションにおける道路ネットワークは、国土地理院基盤地図情報の地図 [2]及び Google Earth[3]を用いて作成した。シミュレーションでは特に被害が予想される火災に対する避難を想定しており、その作成を行う場合取り扱う領域が広く、各種初期データの設定や演算の負荷が大きくなり、また家屋の表現などが困難であったため、本研究ではノード・リンクによって道路ネットワークを表現することとする。

したがって、対象地域の交差点をノードエージェントとして設定し、道路の接続状況、接続している道路の経路長や幅員、面積といった情報を変数として持たせる。また、リンクに関しては、ノード同士の接続という意味で、道路のことをリンクと呼ぶ。地震火災発生後、避難を開始した避難者エージェントは、このリンク上を移動し、ノード(交差点)において経路を選択しながら、目標となる避難場所を目指して移動する。

岐阜県高山市が災害時の避難場所として指定している建物が重要伝統的建造物群保存地区内に存在するが(図 3.2)、地震火災が起こった際は木造の建物が密集する重要伝統的建造物群保存地区内のそれら避難場所に避難するのは危険であると考えられるため、本モデルでは図 3.3 に示す対象地域南側の市街地を避難場所とした。つまり、重要伝統的建造物群保存地区内から市街地に繋がるノードに避難者が辿り着けば避難完了である。

また、対象地域は三町と下二之町大新町の二つの地域が含まれているが、第 2 章の図 2.3-2.6 のように三町は出店などが多く分布し観光客で賑わい、逆に下二之町大新町はほとんどが民家であり、人通りが少ない。このように避難者の分布に大きな偏りがあることと地域の特性が大きく違うことが分かった。したがって図 3.2 で示した道路ネットワークを三町と下二之町大新町の 2 つのブロックに分け、それぞれ独立した避難シミュレーションモデルを作成した。

2 つのブロック分けした道路ネットワーク(以下、略称として「西地区」「東地区」とする)の交差点番号(ノードの番号)、道路番号(リンクの番号)、道路情報(経路長、幅員、面積)を図 3.4-図 3.6 に示す。

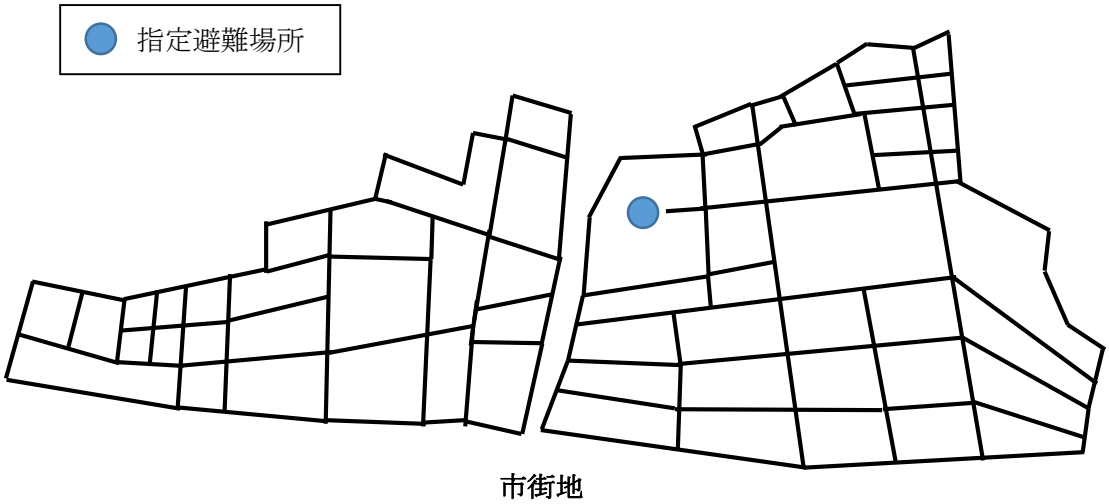

図 3.2　対象地域の道路ネットワーク

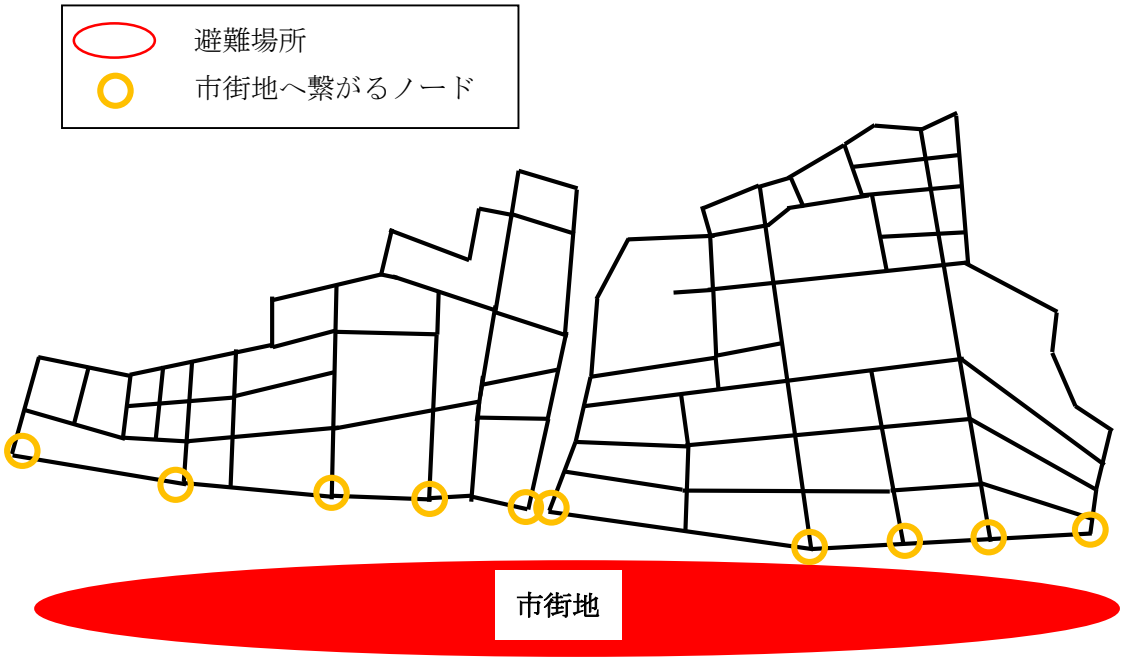

図 3.3　設定した避難場所

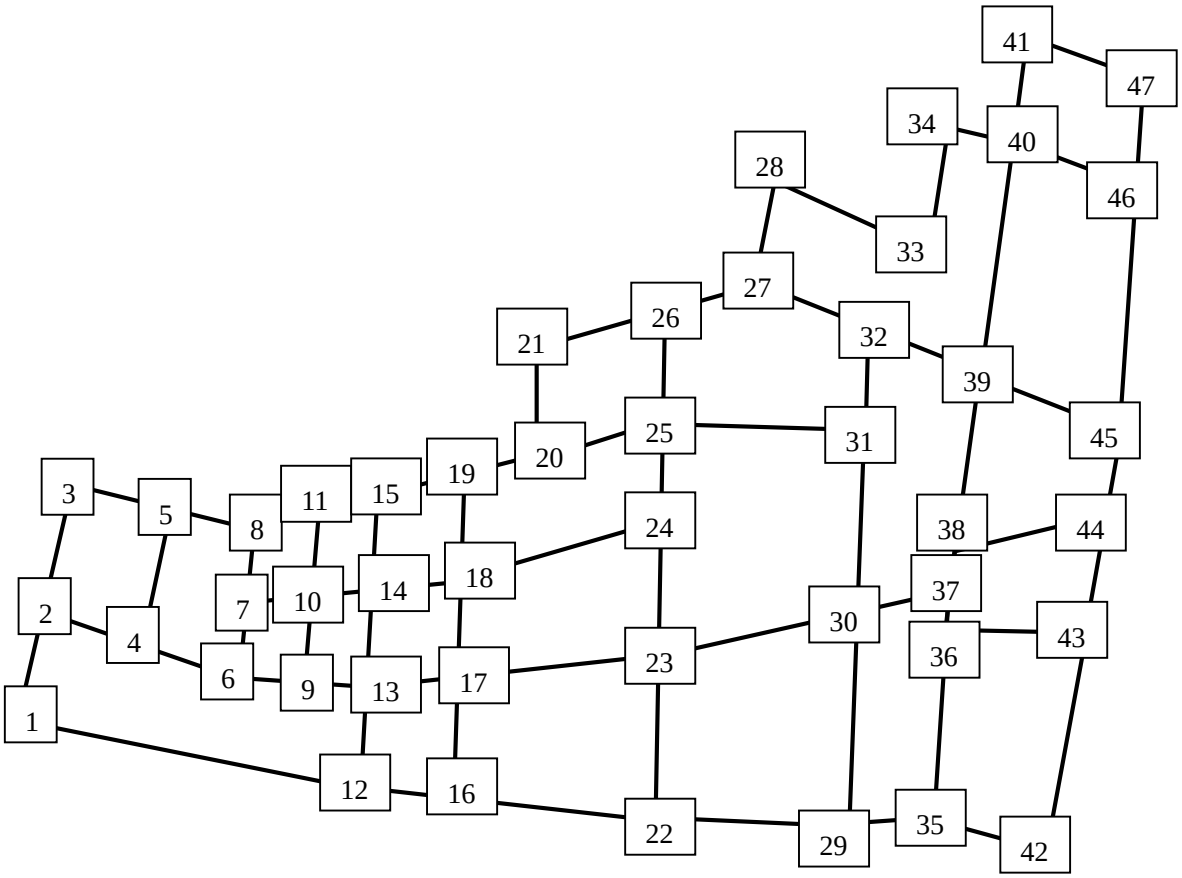

図 3.4　西地区の交差点番号

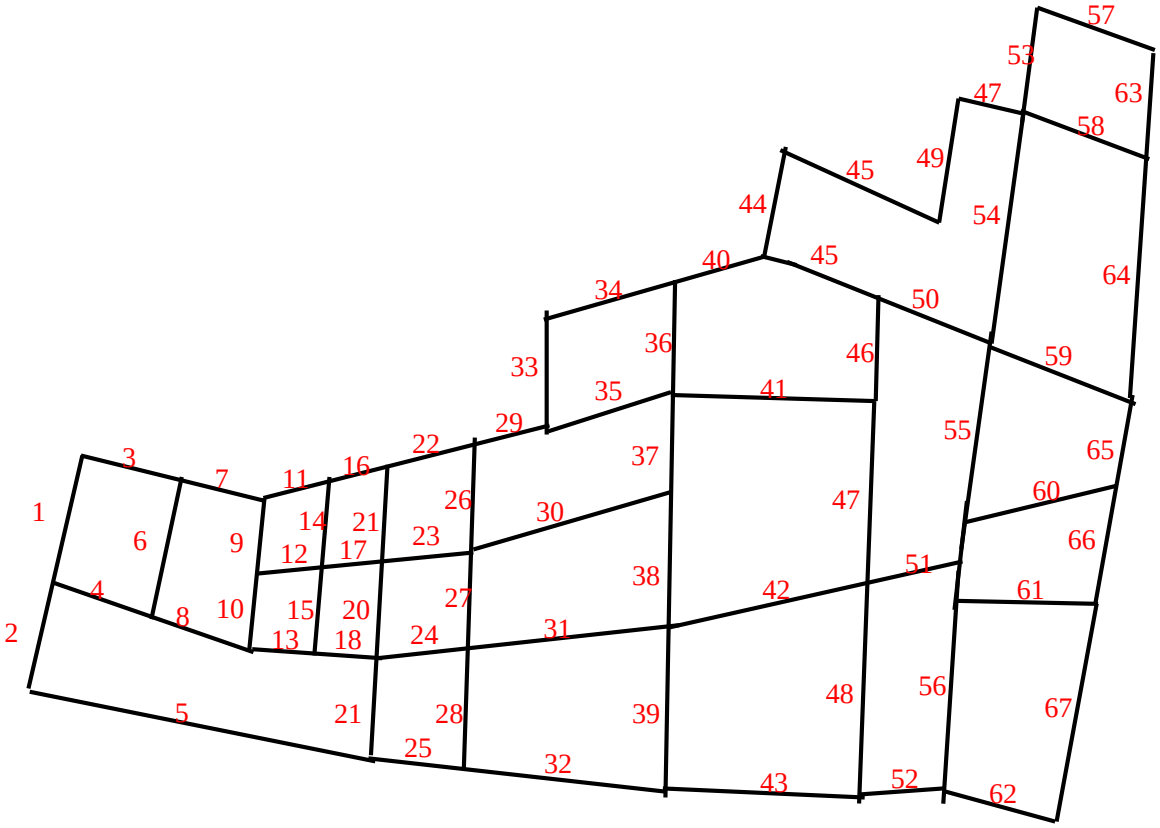

図 3.5　西地区の道路番号

表 3.1　西地区道路情報

道路番号	経路長(m)	幅員(m)	面積(㎡)
1	45	10	450
2	40	10	400
3	145	5	725
4	150	6	900
5	255	4	1020
6	55	6	330
7	65	5	325
8	75	6	450
9	25	4	100
10	25	4	100
11	50	7	350
12	45	4.5	202.5
13	45	4	180
14	30	3.5	105
15	30	3.5	105
16	40	7	280
17	45	4.5	202.5
18	50	4	200
19	30	6	180
20	35	6	210
21	30	6	180
22	65	7	455
23	65	4.5	292.5
24	65	4	260
25	60	4	240
26	35	6	210
27	35	6	210
28	35	6	210
29	50	7	350
30	150	5	750
31	150	4	600
32	155	4	620

表 3.1　西地区道路情報(続き)

道路番号	経路長（m）	幅員（m）	面積（㎡）
33	40	5.5	220
34	95	5.5	522.5
35	95	7	665
36	40	4	160
37	30	4	120
38	55	4	220
39	55	4	220
40	70	5.5	385
41	155	7	1085
42	150	4	600
43	145	4	580
44	40	5	200
45	75	5.5	412.5
46	35	9	315
47	70	9	630
48	70	9	630
49	50	5.5	275
50	90	7	630
51	70	4	280
52	60	4	240
53	40	6	240
54	90	6	540
55	90	6	540
56	70	6	420
57	90	7	630
58	80	9	720
59	90	7	630
60	95	7	665
61	100	5	500
62	80	5	400
63	50	6	300

表 3.1　西地区道路情報(続き)

道路番号	経路長(m)	幅員(m)	面積(㎡)
64	95	6	570
65	35	6	210
66	45	6	270
67	75	6	450

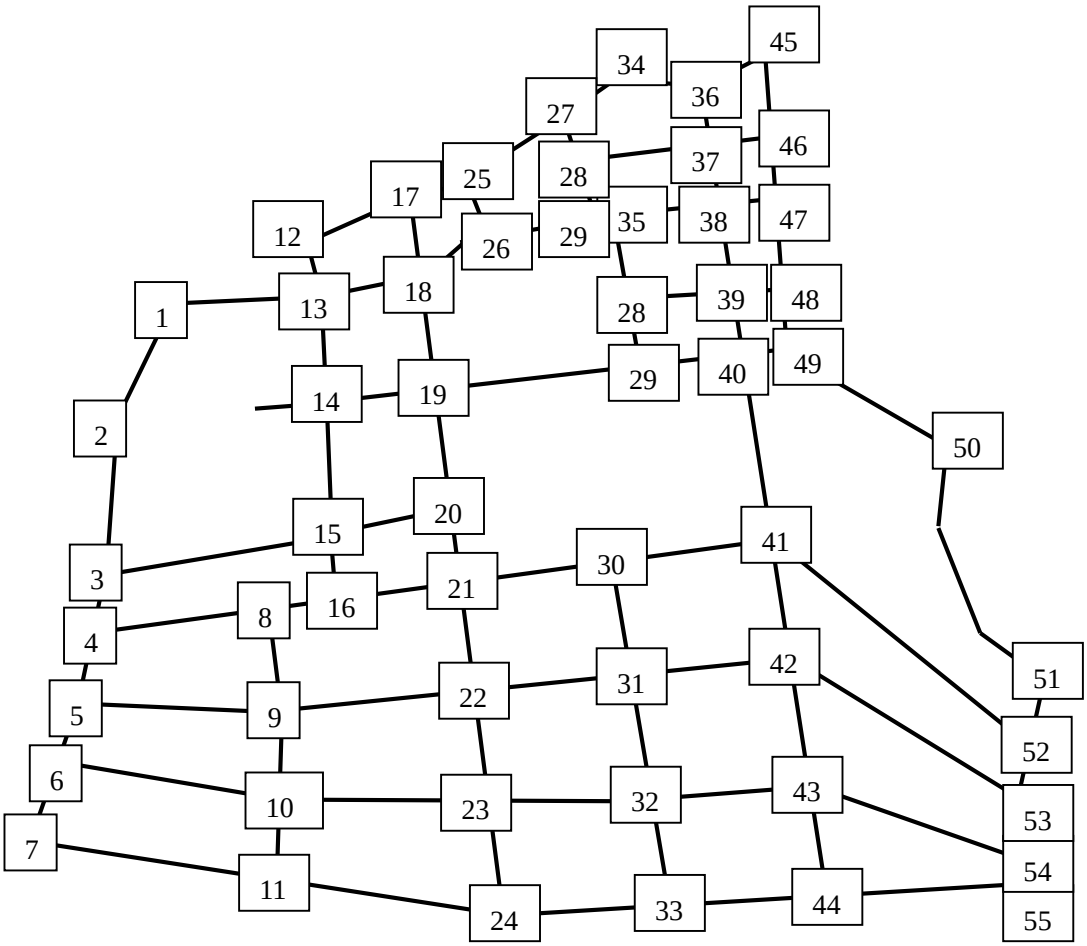

図 3.6 東地区の交差点番号

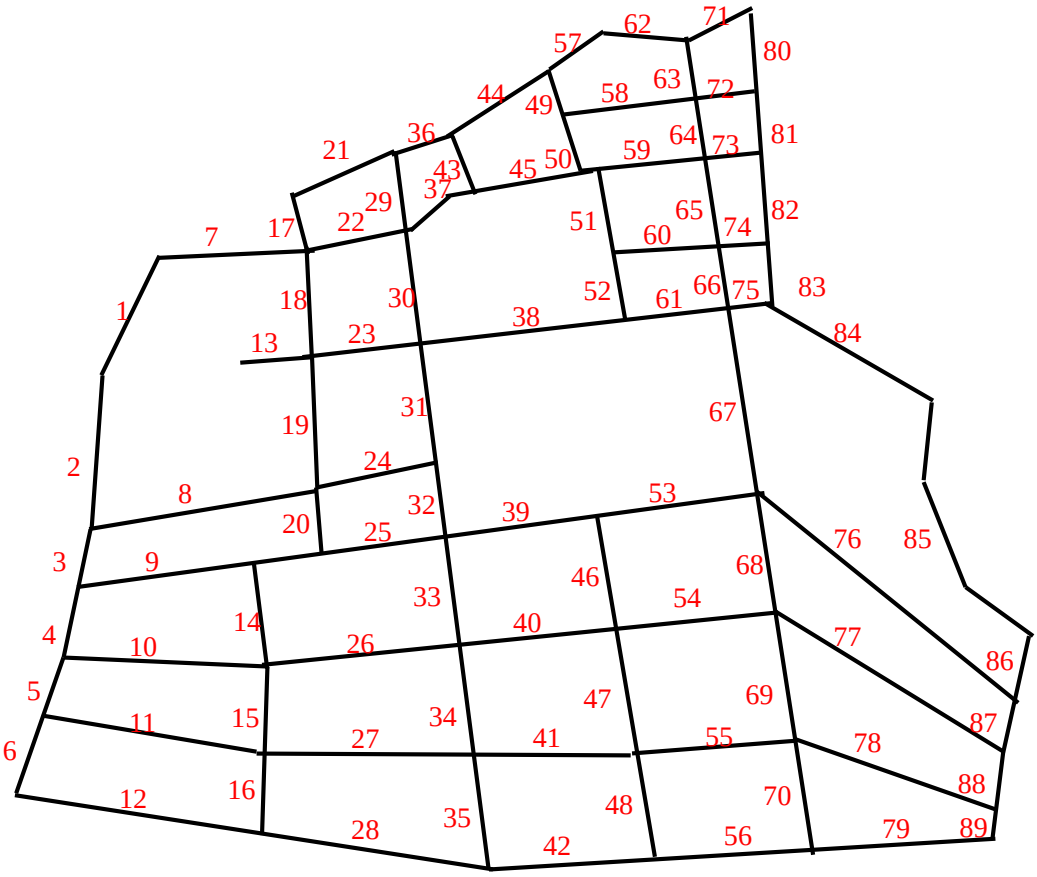

図 3.7 東地区の道路番号

表 3.2 東地区道路情報

道路番号	経路長（m）	幅員（m）	面積（㎡）
1	85	4	340
2	100	4	400
3	30	4	120
4	45	7	315
5	30	7	210
6	45	7	315
7	110	6	660
8	260	6	1560
9	120	6	720
10	140	6	840
11	150	5.5	825
12	165	5	825
13	75	12	900
14	60	5	300
15	45	6.5	292.5
16	45	6.5	292.5
17	30	5	150
18	70	13	910
19	100	13	1300
20	35	5	175
21	85	4	340
22	80	6	480
23	80	13	1040
24	100	6	600
25	95	6	570
26	140	6	840
27	145	5.5	797.5
28	160	5	800
29	50	13	650
30	65	13	845
31	65	13	845
32	35	13	455

表 3.2 東地区道路情報（続き）

道路番号	経路長（m）	幅員（m）	面積（㎡）
33	60	13	780
34	60	13	780
35	55	13	715
36	40	5	200
37	50	4	200
38	150	3	450
39	100	5.5	550
40	105	4.5	472.5
41	105	3	315
42	105	3	315
43	25	4	100
44	100	3	300
45	90	4	360
46	65	5.5	357.5
47	70	5	350
48	50	5.5	275
49	30	3.5	105
50	35	3.5	122.5
51	50	4	200
52	50	4	200
53	129	5.5	709.5
54	115	6	690
55	115	4	460
56	110	4	440
57	55	5	275
58	110	5	550
59	105	4	420
60	85	6	510
61	85	3	255
62	65	5	325
63	40	5.5	220

表 3.2 東地区道路情報（続き）

道路番号	経路長（m）	幅員（m）	面積（㎡）
64	40	5.5	220
65	50	5.5	275
66	40	5.5	220
67	115	6	690
68	65	7	455
69	75	7	525
70	60	7	420
71	50	4	200
72	45	5	225
73	40	4	160
74	40	6	240
75	35	3	105
76	210	4.5	945
77	160	6	960
78	135	3	405
79	125	4	500
80	50	4	200
81	40	4	160
82	55	4	220
83	45	4	180
84	130	3	390
85	150	5	750
86	40	6	240
87	30	6	180
88	30	6	180
89	15	6	90

3.3.2 避難者エージェント

本モデルでは、避難者である住民と観光客を「避難者エージェント」として設定した。図 3.8 で示す通り、避難者エージェントは、ノードとリンクにより形成される道路ネットワーク上を目標ノードの選択を繰り返しながら移動する。また、道路ネットワークを越えての移動はできないものとする。本モデルの西地区には観光客がほとんど存在しないので住民の避難を、東地区では逆に出店などが多く観光地になっており、ほとんどが観光客で住民が住む家屋があまり存在しないことから、観光客の避難をそれぞれ想定している。

本モデルで設定した人数について、西地区では存在する家屋の数×3 の人数を発生させた。これは高山市統計平成 26 年度版 [5]に示されている 1 世帯あたりの平均人員 3 人をもとに設定した。また東地区では観光客の数は時期や時間帯によって異なるが、より厳しい条件化でのシミュレーションを想定するために観光客が一番多いと考えられる高山祭 [6]が開催される時期の来場者数から 4000 人の避難者エージェントを設定した。

避難者エージェントの発生方法について、本モデルでは避難者エージェントの数が非常に多いため一人ずつモデルに配置するのは困難であったため、交差点のノードから時間ごとに避難者を発生させることで擬似的に表現した。なお、本モデルの交差点は図 3.4、図 3.6 である。避難シミュレーションモデル上で設定した対象地域内の住民エージェント数を表 3.3 に、シミュレーションモデルを図 3.9 に示す。

地震発生後、避難を始めた住民エージェントは、目標の避難場所を決定する。その上で、避難者が経路選択を行う際に、出発地から目的地までの最短経路を求める必要がある。本研究では、2 点間の最短経路、最短距離を求めるダイクストラ法 [7]を用いた。また、最短経路で避難する際に火災に遭遇した場合は、迂回して避難場所を目指す。避難者行動を図 3.8、避難者エージェントの行動フローを図 3.10 に示す。

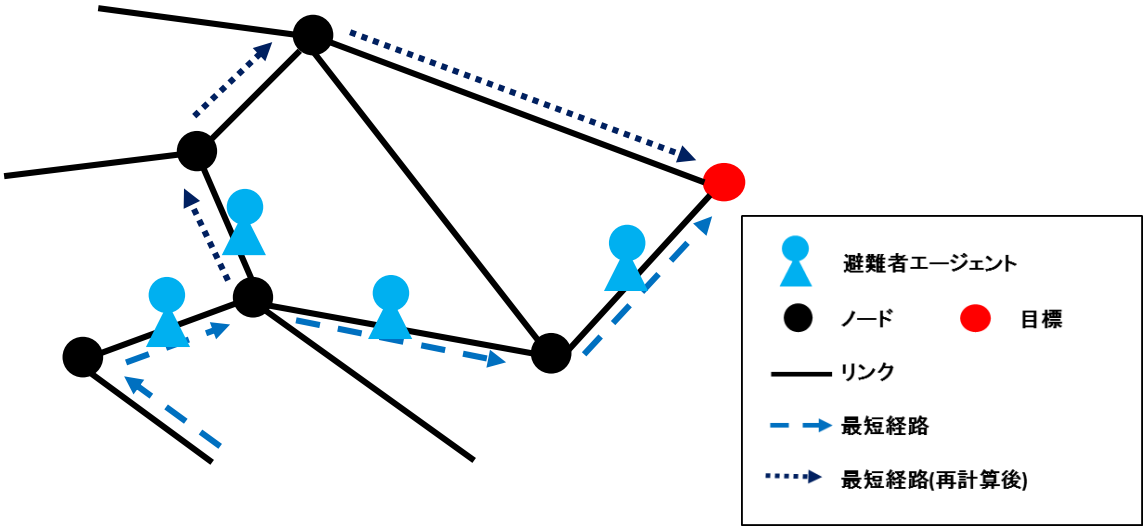

図 3.8 避難者行動

表 3.3 対象地域内の人数

	西地区	東地区	全体
避難者エージェント（人）	663	4000	4663

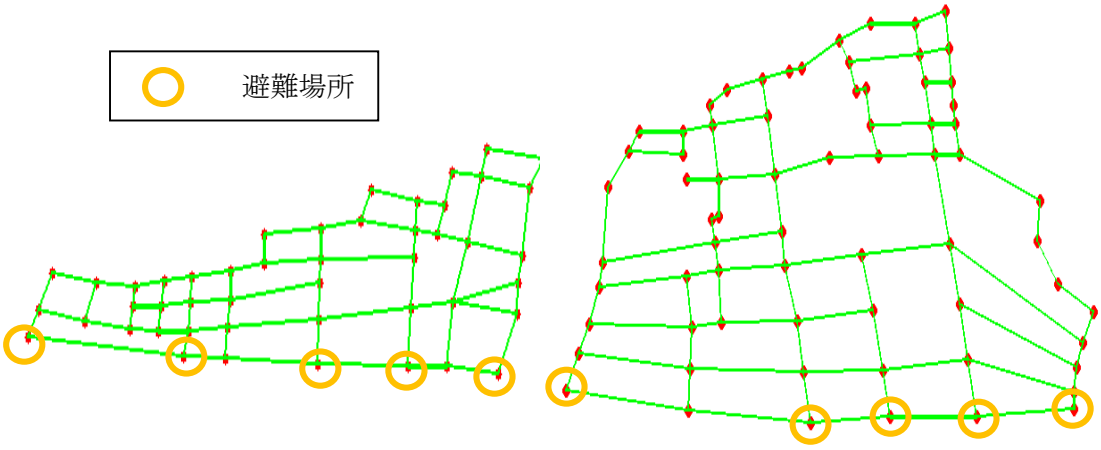

図 3.9　シミュレーションモデル

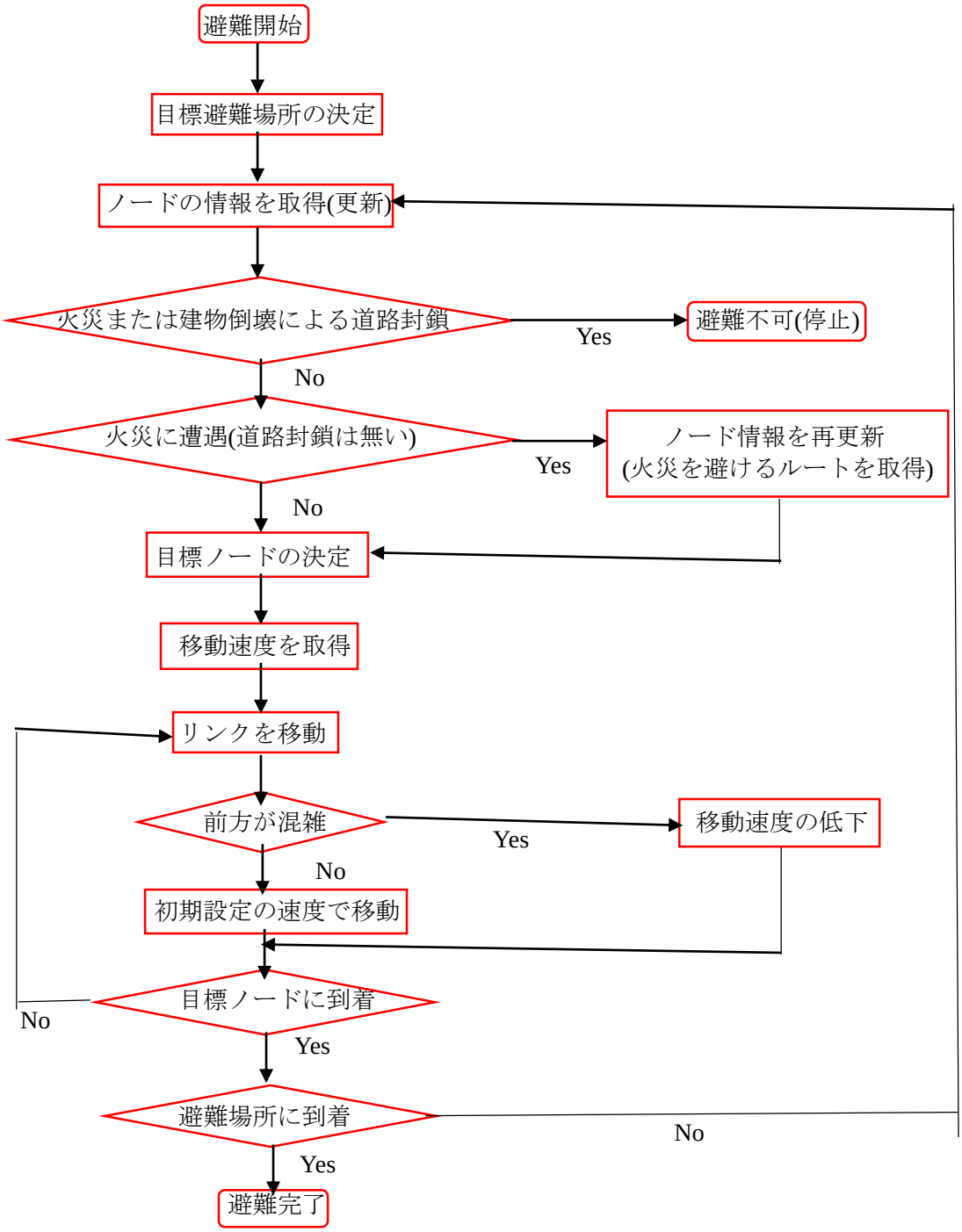

図 3.10 避難者エージェントの行動フロー

3.3.3　避難方法

西地区と東地区においてどちらも避難者は徒歩避難をするものとして考える。
徒歩避難の移動速度に関しては、階避難安全検証法に関する算定方法 [8]と東日本大震災時の津波避難実態調査結果 [9]に基づき以下の 2 種類設定した。

①歩行速度 1.3m/s (基本速度)
②歩行速度 1.0m/s (老人自由歩行速度、群集歩行速度、地理不案内者歩行速度等)

また、混雑による移動速度への影響も考慮し、首都直下地震避難対策等専門調査会報告 [10]の混雑度別の混雑状況を参考にして、表 3.5 に示した通り、それぞれ 5 段階の速度低減を設定した。

表 3.4　徒歩避難における速度低減

	混雑度(人/㎡)					
	～1.5	1.5～2.75	2.75～4	4～5.25	5.25～6	6～
歩行速度(m/s)	1.0～1.6	0.75	0.5	0.25	0.1	0

3.3.4　火災の表現

火災延焼には，風速・湿度などの気象条件，建物の種類・構造・密度，道路・公園等の空地比率などの都市構造要因，河川・海・崖などの地形要因，消防力などの人為要因が関係する。特に都市構造要因は延焼危険度に大きくかかわり、木造建物が密集し不燃化率が低く道路が狭い住宅地区は危険度が非常に高い。

火災延焼を表現するには高山市の詳しいデータが不足しているので、木造の建物が密集した地域で火災が広がった点において本研究と類似していること、また、現段階において厳しい条件化でのシミュレーションを再現するために関東大震災における延焼速度 [11]を用いた。

関東地震では、折悪しく台風通過時で秒速 10~20m の強風が吹き、しかも風向が大きく変化したので、すべての方向に延焼し大きな火災へ発展した。
本モデルでは、火災が出火点から円状に延焼速度時速 200ｍで広がっていくと仮定し(図 3.11)、火災が到達した道路を封鎖していく。その際、図 3.12 に示す主要道は道幅が 10m 以上あり、飛び火が起こる可能性が低いので主要道を挟んで火災は燃え広がらないものとし、主要道自体は封鎖されないものとする。

避難者エージェントは、避難している途中で火災に遭遇した場合、火災を避けるように迂回して避難場所を目指す動きをする。ここで、「火災との遭遇」とは、避難者エージェントがノード(交差点)に到達した際に、次に目指すリンク(道路)が火災で通行不可の状況であ

ることを指す。このとき、避難者エージェントは避難場所までの経路を再計算し、通行不可のリンクとは別のノードを目指して移動し始める。もし通行不可のノード以外に移動できるノードがない場合、その場で停止する。避難者エージェントが停止した場合、火災によって避難場所に到達できなかったとみなし、避難完了できなかったこととする。

図 3.11 火災延焼の表現 (Google マップに加筆)

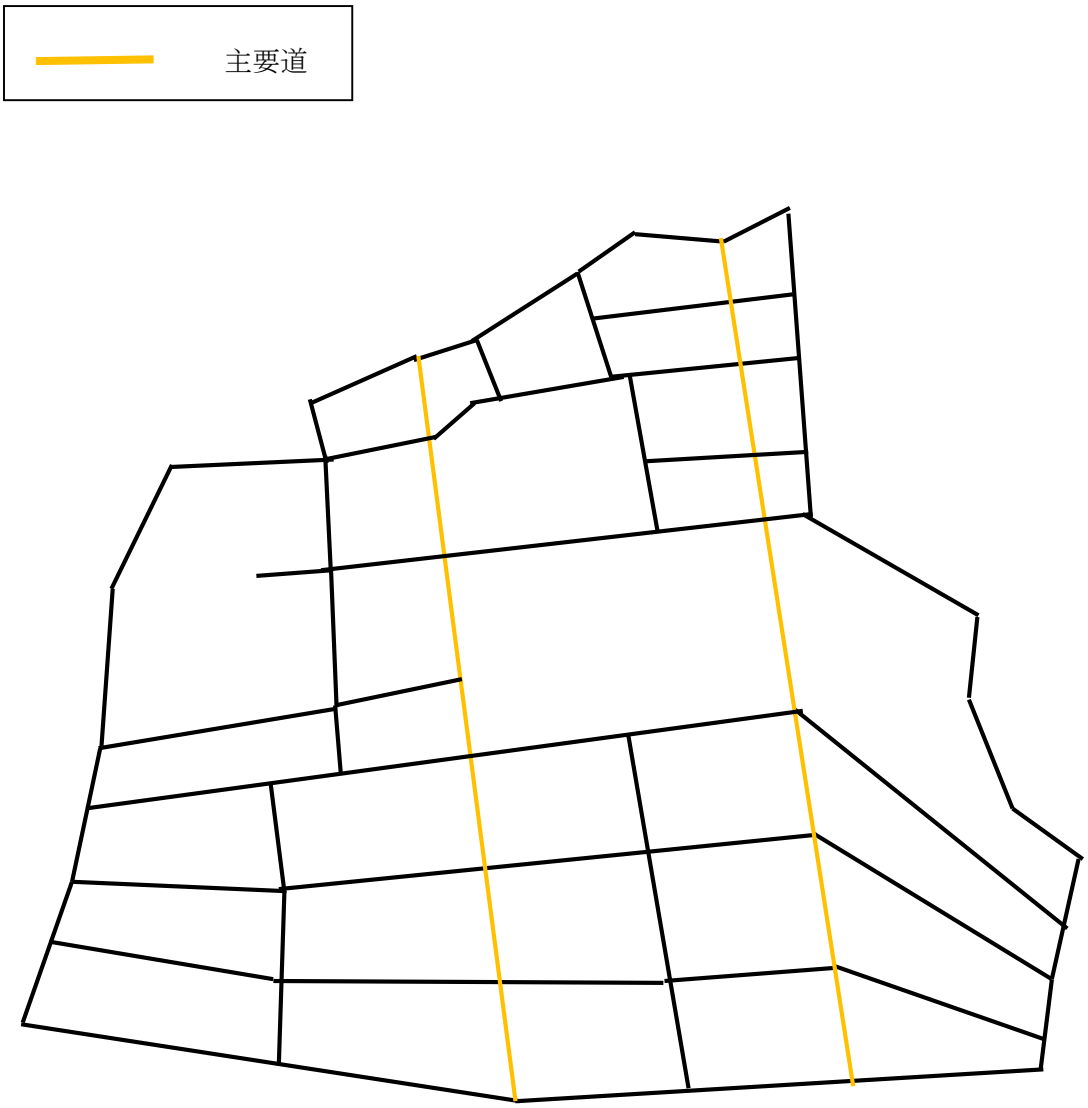

図 3.12　対象地域の主要道

第 3 章の参考文献

1)株式会社　構造計画研究所：artisoc3.0 ユーザーマニュアル,2009 年

2)株式会社　構造計画研究所：artisoc3.0 ユーザーマニュアル,2009 年

3)国土地理院基盤地図情報閲覧サービス,2015 年
http://www.gsi.go.jp/　(2015 年 2 月 4 日閲覧)

4)Google Earth,2014 年
http://www.google.co.jp/earth/index.html (2015 年 2 月 1 日閲覧)

5)高山市　2015 年
http://www.city.takayama.lg.jp/kurashi/toukei.html　(2015 年 2 月 1 日閲覧)

6)高山市観光情報　2015 年
http://www.hida.jp/matsuri/harumatsuri.html　(2015 年 1 月 31 日閲覧)

7)株式会社構造計画研究所：MAS コミュニティ　河川氾濫モデルの作り方,2007 年.
http://mas.kke.co.jp/modules/mydownloads/singlefile.php?cid=1&lid=63　(2015 年 2 月 4 日閲覧)

8)建設省：第 1441 号第 2(居室避難計画)階避難安全検証法,2000 年

9)総務省消防庁：第 2 章　市町村における津波避難計画策定指針,2012 年
http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h24/tsunami_hinan/houkokusho/p02.pdf　(2015 年 2 月 4 日閲覧)

10)中央防災会議：首都直下地震対策等専門調査報告,2009 年
http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/　(2015 年 2 月 4 日閲覧)

11)防災基礎講座　地震火災
http://dil.bosai.go.jp/workshop/03kouza_yosoku/s11kasai/fire.htm　(2015 年 2 月 4 日閲覧)

第 4 章　シミュレーションの結果と考察

4.1　概説

本章では、対象地域において避難シミュレーションモデルを適用する。そして、その結果から地震火災避難における適切な避難経路、避難場所の安全性について検討していく。

4.2　避難分析

本研究の目的である地震火災避難における適切な避難経路、避難場所の安全性評価を行うために、対象地域の西地区と東地区においていくつかのパターンでシミュレーションを行う。ここで、それぞれの地区において災害弱者(歩行困難者、身体障がい者、乳幼児、重病人等)がいた場合、地震火災の発生数のパターンを変え、避難推移や避難状況を比較する。

4.2.1　災害弱者の設定

対象地域に限らず、災害避難を考える場合は必ず災害弱者が居ることを考慮する必要があると考えられる。そこで第 3 章 3.3.3 で記述した徒歩避難の移動速度に災害弱者の移動速度(表 4.1)[1)]を加え、その速度で移動する避難者エージェントの数を変化させることで、災害弱者がいることによって避難全体にどのような影響を及ぼすのかを把握することを目的とする。

表 4.1　避難者の歩行速度

徒歩避難種類	歩行速度 (m/s)
基本速度	1.3
老人自由歩行速度、群集歩行速度、地理不案内者歩行速度等	1
歩行困難者、身体障がい者、乳幼児、重病人等	0.62

4.2.2　火災発生箇所と発生数の設定

西地区では民家になっている家屋がほとんどであり、出店が多い東地区に比べ火災が発生する確率は低いと考えられるが、民家でも火を扱っている可能性はある。そこで西地区では、駐車場などの空間が存在せず、特に木造の建物が密集している 3 箇所を選定し、出火点として設定しそれぞれに出火点番号をつける。西地区の出火点と出火点番号を図 4.1 に示す。

東地区では図 4.2 に示す場所が出店の密集地となっており、この地域の最も道幅の狭い道が存在するエリアでもある。よって東地区では西地区同様に、このエリアの最も木造の建物が密集している 3 箇所選定し、出火点として設定し出火点番号をつける。東地区の出火点と出火点番号を図 4.3 に示す。

なお火災の広がり方、延焼速度等は第 3 章 3.3.4 に記述した通りであり、火災が到達したリンクは切断され、避難者は通れないようになる。

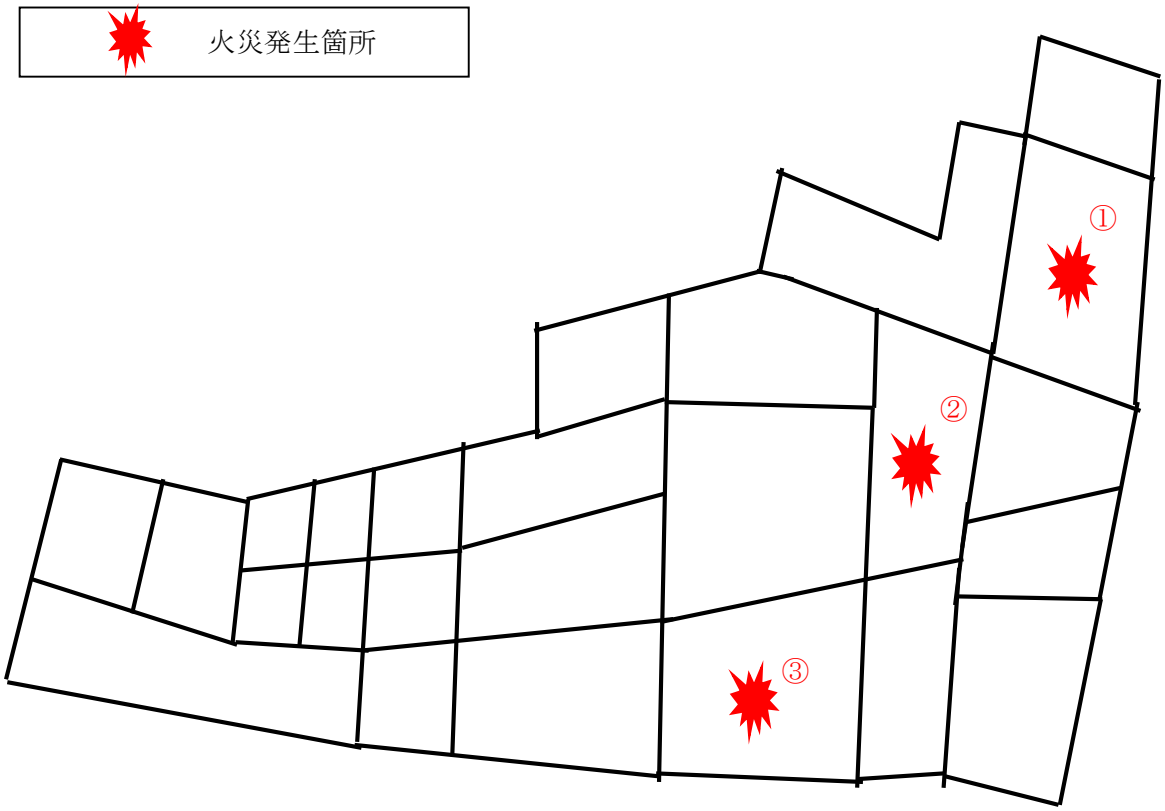

図 4.1　西地区の出火点と出火点番号

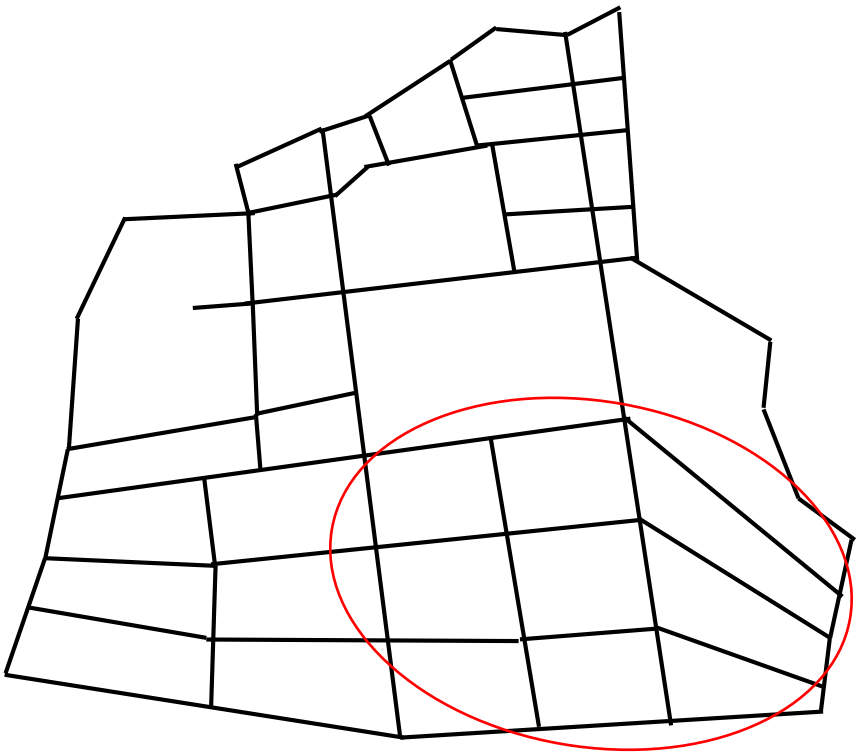

図 4.2　出店の密集地

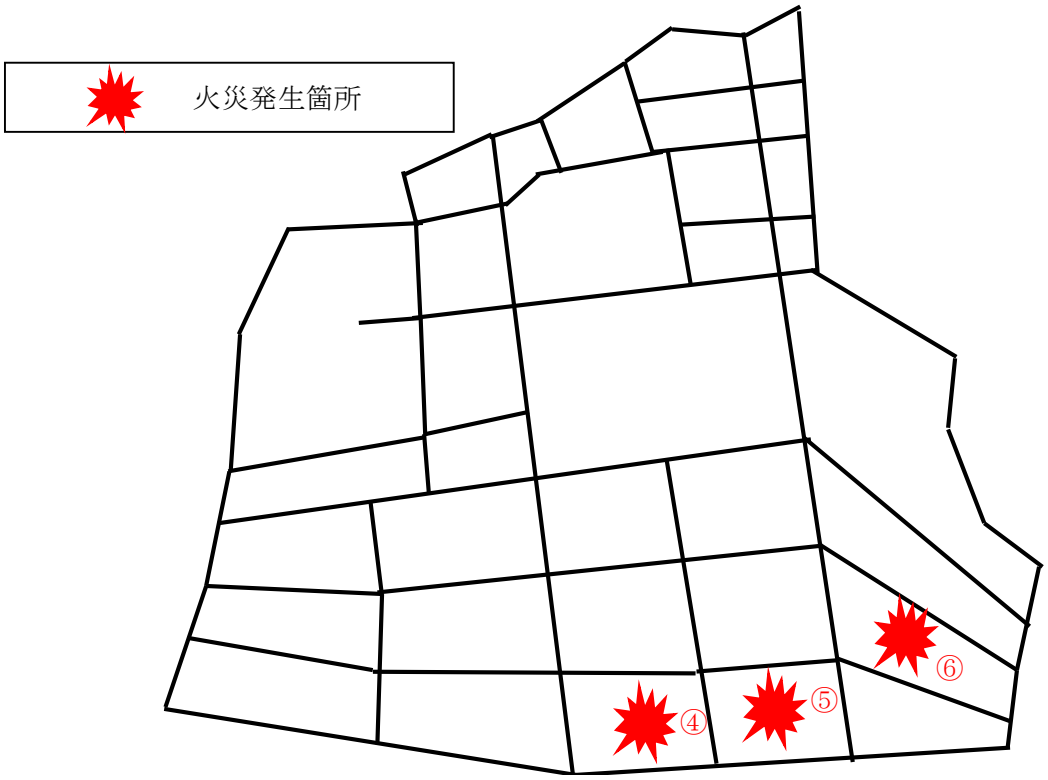

図 4.3　東地区の出火点と出火点番号

4.3　西地区における避難シミュレーション

西地区において避難シミュレーションをいくつかのパターンで行い、その結果についての考察を行う。

4.3.1　シミュレーション内容

ここでは状況別のシミュレーションを 5 パターン行った。

パターン 1 とパターン 2 を比較することで対象地域内の災害弱者の有無によって避難状況にどのような影響が出るかを把握する。さらに、パターン 3 からパターン 5 を比較することで災害弱者を含んだ条件下において火災が発生し、その発生箇所、発生数によって避難状況、避難時間がどのように変化するかを把握する。

本節で行ったシミュレーション内容を表 4.2 に示す。

表 4.2　シミュレーション内容(パターン別)

パターン番号	災害弱者なし	災害弱者あり	火災なし	火災あり(出火点番号①)	火災あり(出火点番号②)	火災あり(出火点番号③)
1	○		○			
2		○	○			
3		○		○		
4		○		○	○	
5		○		○	○	○

4.3.2　シミュレーション結果

パターン 1、パターン 2 及びパターン 3 のシミュレーション結果の比較をを図 4.4、パターン 3、パターン 4 及びパターン 5 のシミュレーション結果の比較を図 4.5 に示す。またそれぞれのパターンの避難完了時間を表 4.3 に示す。

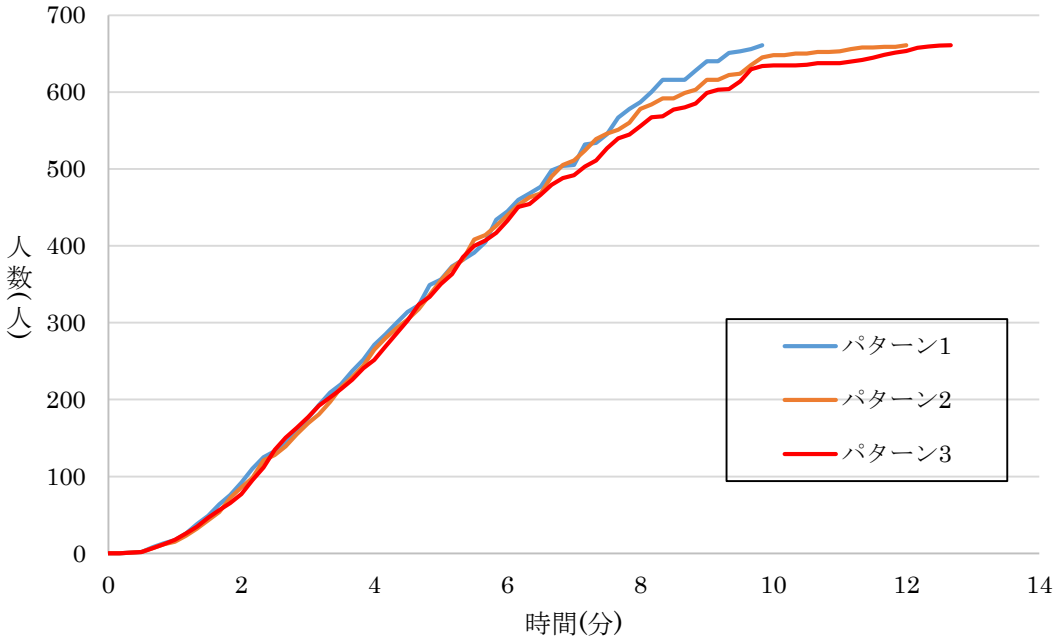

図 4.4　パターン別の避難者の推移

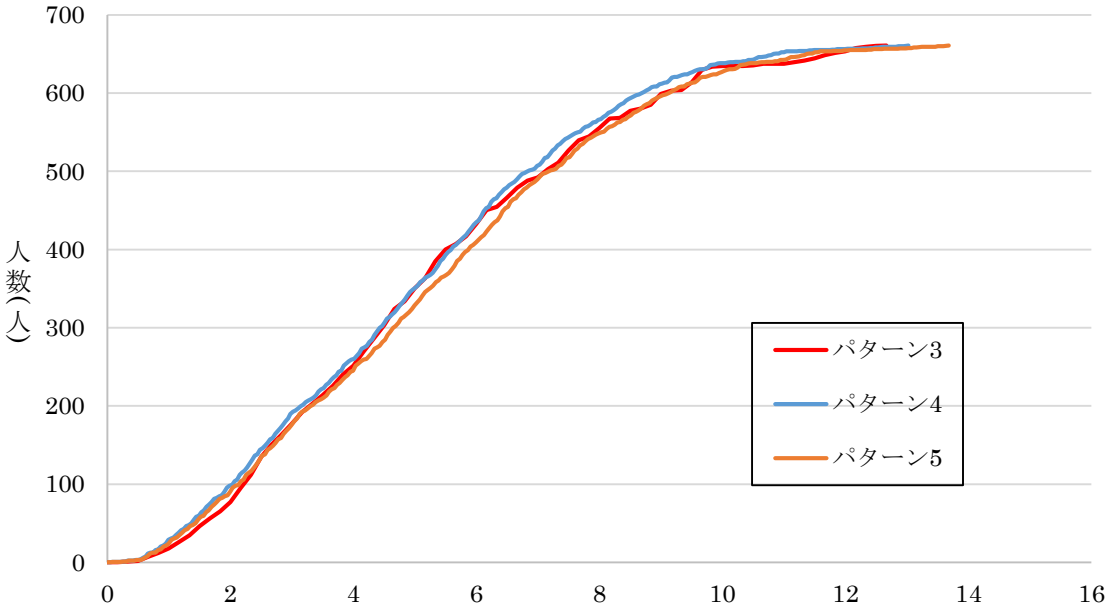

図 4.5　パターン別の避難者の推移

表 4.3　パターン別の避難完了時間

	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5
避難完了時間	9分49秒	12分	12分40秒	13分2秒	13分40秒

4.3.3　考察

図 4.4 を見るとパターン 1 とパターン 2 では避難完了時間に 2 分以上の差が生じることが分かる。このことから災害弱者が存在することによって、混雑など避難者の避難が遅れる現象が起きているか、または災害弱者自身の避難が遅れていると考えられるが、後者であることが分かった。パターン 2 とパターン 3 を比べると、避難完了時間に多少の差は生じているが、避難推移の曲線には大きな違いが見られなかった。このことから火災が 1 箇所で発生した場合、避難者の避難状況にはあまり影響しないと考えられる。

図 4.5 を見るとパターン 3、パターン 4、パターン 5 で避難完了時間は最大で 1 分ほどしか違いが見られなかった。このことから火災によって避難者の避難状況にあまり影響はないことが分かる。火災に避難状況があまり影響されなかったのは、西地区の避難者数があまり多くないため、火災で道路が閉塞された場合でも別のルートで大規模な混雑が発生することなく避難する事ができ、火災が大きく広がる前に避難を完了することができたからである。結果的に西地区では、すべての道路が閉塞するような大規模な同時火災でなければ、設定した避難場所に滞りなく避難することが可能であると考えられる。

4.4　東地区における避難シミュレーション

東地区において避難シミュレーションをいくつかのパターンで行い、その結果についての考察を行う。

4.4.1　シミュレーション内容

ここでは避難場所の違い、災害弱者の有無、火災の状況の 3 つの観点からシミュレーションを行った。

パターン 6 とパターン 7 の比較では、指定避難場所に避難者が全員避難した場合、災害弱者が存在することで避難状況がどのように変化し、どのような問題が生じるのかを把握する。パターン 8 とパターン 9 の比較では、新たに避難場所として設定した市街地に避難者が避難する上で、災害弱者が避難状況にどのような影響を与えるのかを把握する。パターン 10 からパターン 12 の比較では、災害弱者を含んだ条件下において火災が発生し、火災の発生数、発生箇所によって避難状況がどのように変化するのかを把握する。

本節で行ったシミュレーション内容を表 4.3 に示す。

表 4.3　シミュレーション内容(パターン別)

パターン番号	指定避難場所	設定避難場所	災害弱者なし	災害弱者あり	火災なし	火災あり(出火点番号①)	火災あり(出火点番号②)	火災あり(出火点番号③)
6	○		○		○			
7	○			○	○			
8		○	○					
9		○		○				
10		○		○		○		
11		○		○		○	○	
12		○		○		○	○	○

4.4.2　シミュレーション結果(指定避難場所)

パターン 6、パターン 7 のシミュレーション結果の比較を図 4.6 に示す。またパターン 6、パターン 7 の避難完了時間を表 4.4 に示す。

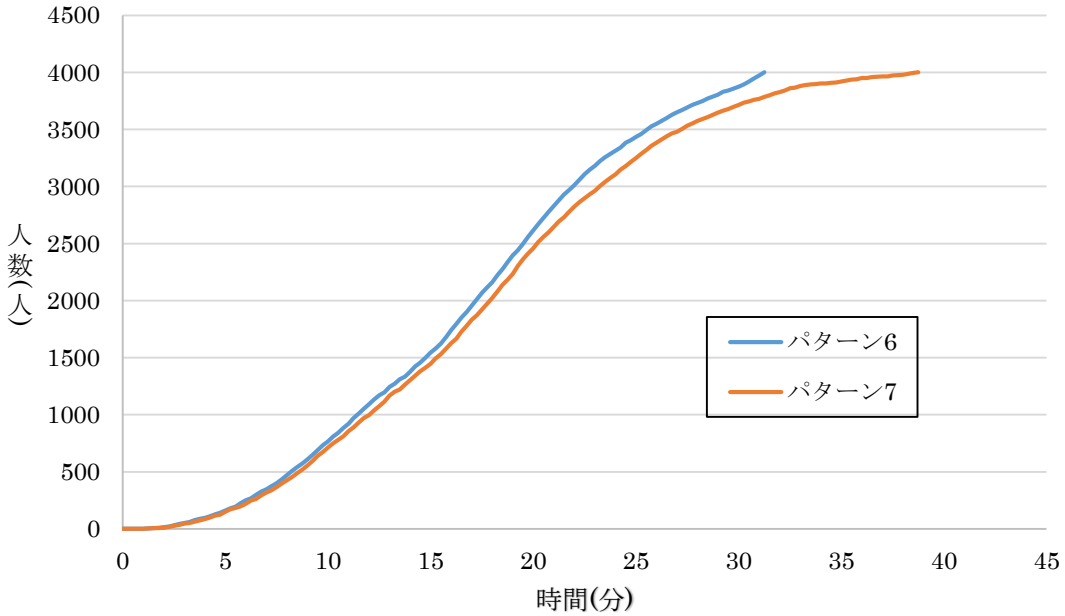

図 4.6　パターン別の避難者の推移

表 4.4　パターン別の避難完了時間

	パターン6	パターン7
避難完了時間	31分15秒	38分45秒

4.4.3　考察

パターン 7 の経過時間による避難状況を図 4.8-図 4.13 に示す。色は道ごとの避難者密度によって混雑度(人/㎡)を表しており、赤＞青＞緑の順で混雑度(人/㎡)が大きい。なお混雑度(人/㎡)の値は緑＜2、2≦青＜4、赤≧4 としており、混雑度(人/㎡)が 4 を超えた場合、首都直下地震避難対策等専門調査会報告の混雑度別の混雑の状況 [2)]より人は自由に体を動かすことが困難となるので危険であると考えられる。

パターン 6 とパターン 7 では高山市で指定されている避難場所である高山別院に避難者全員を避難させた場合のシミュレーションである。実際に地震火災が起こったときに対象地域全員がこの高山別院 1 箇所に避難することは考えにくいが、本研究で設定した避難場所への比較のためにこのシミュレーションを行なった。

パターン 6、パターン 7 を比べると避難完了時間に 7 分 30 秒の差が生じた。このことから、災害弱者がこの東地区に存在することによって大幅な避難時間の遅延につながると考

えられる。また図 4.8-4.12 を見ると高山別院につながる 3 方向すべての道で大きな混雑が起きていることが分かる。特に対象地域の主要道方向から流入する 2 つの道では最大で 100m 以上にわたって大きな混雑が起き、避難完了直前まで混雑が続いている。100m 以上の混雑箇所を図 4.7 に示す。このことから、災害弱者を含んだ状態での高山別院 1 箇所への避難は時間的に見ても非効率であると考えられる。また、このシミュレーションで行なった内容は、対象地域内の避難者全員が単純に高山別院へ避難するものであり、地震火災が起こっていない状態である。高山別院へ続く道はどれも主要道のように道幅が広いわけではないので、実際に地震火災が起こったとすると、高山別院へ続く道が封鎖される恐れも考えられる。図 4.8-4.13 のように、3 方向からの避難者の流入でも大きな混雑が起きている状態なので、仮に 3 方向の経路のうちどれか 1 つでも封鎖された場合、より大きな混雑が発生すると考えられる。このことから、安全性の面においても高山別院 1 箇所への避難は危険であると考えられる。

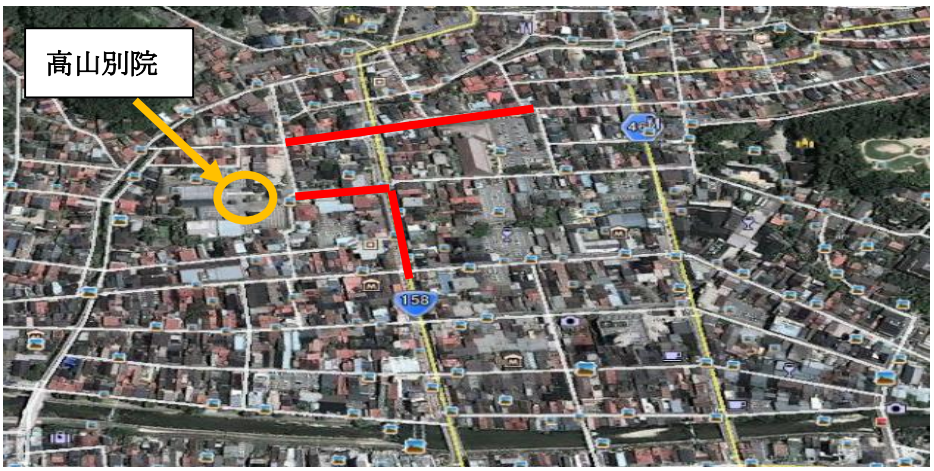

図 4.7　100m 以上の混雑箇所(Google マップに加筆)

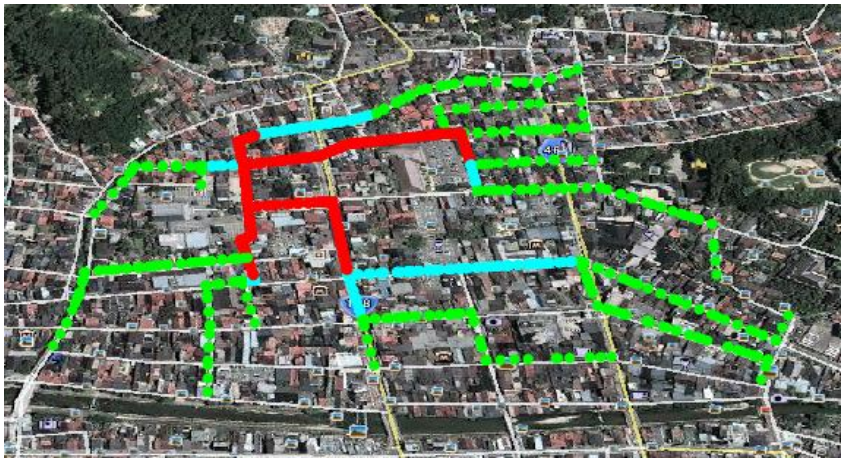

図 4.8　避難状況(避難開始直後)

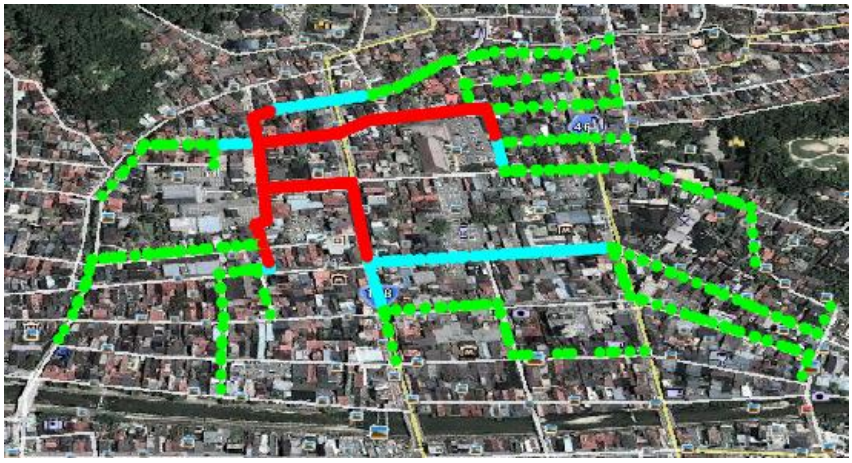

図 4.9　避難状況(避難開始から 5 分後)

図 4.10　避難状況(避難開始から 15 分後)

図 4.11　避難状況(避難開始から 25 分後)

図 4.12　避難状況(避難開始から 35 分後)

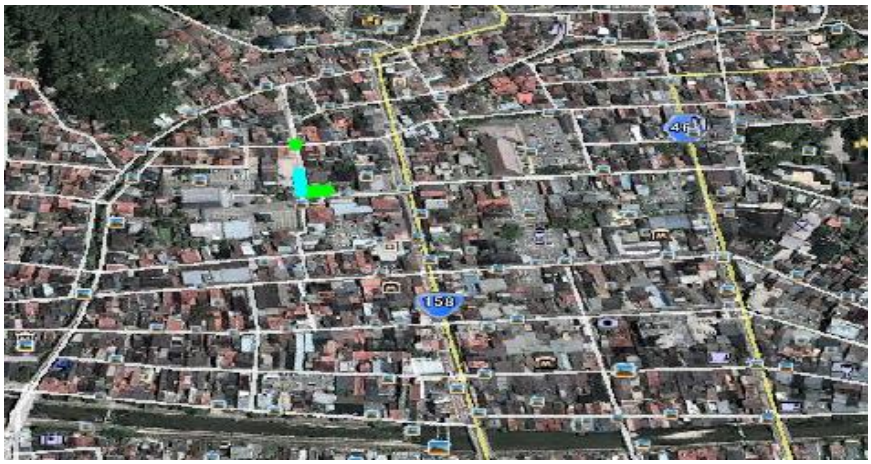

図 4.13　避難状況(避難完了直前)

4.4.4　シミュレーション結果(設定避難場所)

パターン 8、パターン 9、パターン 10 のシミュレーション結果の比較を図 4.14、パターン 10、パターン 11、パターン 12 のシミュレーション結果の比較を図 4.15 に示す。またパターン 8-12 の避難完了時間を表 4.4 に示す。

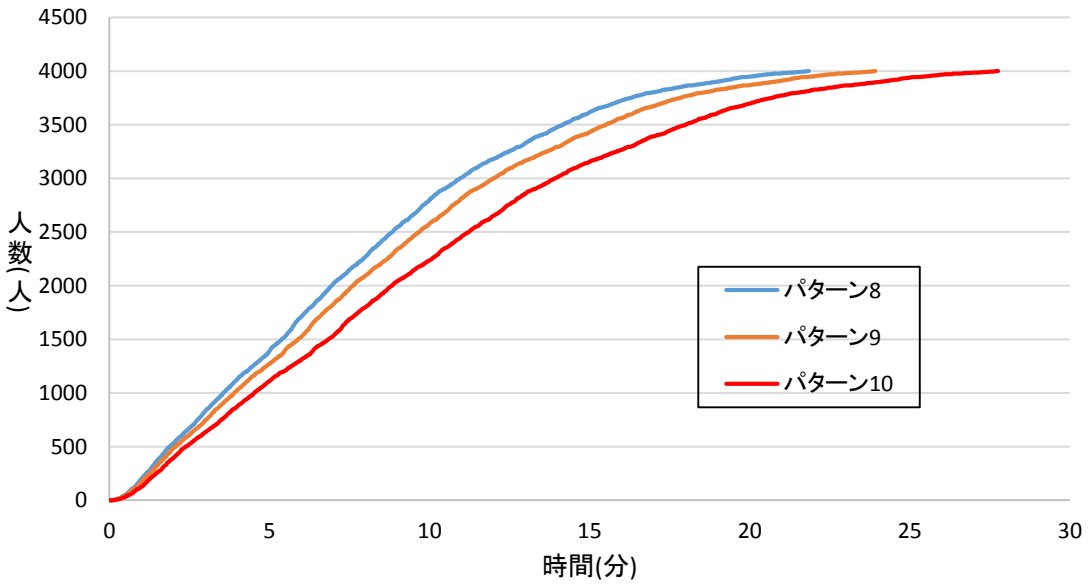

図 4.14　パターン別の避難者の推移

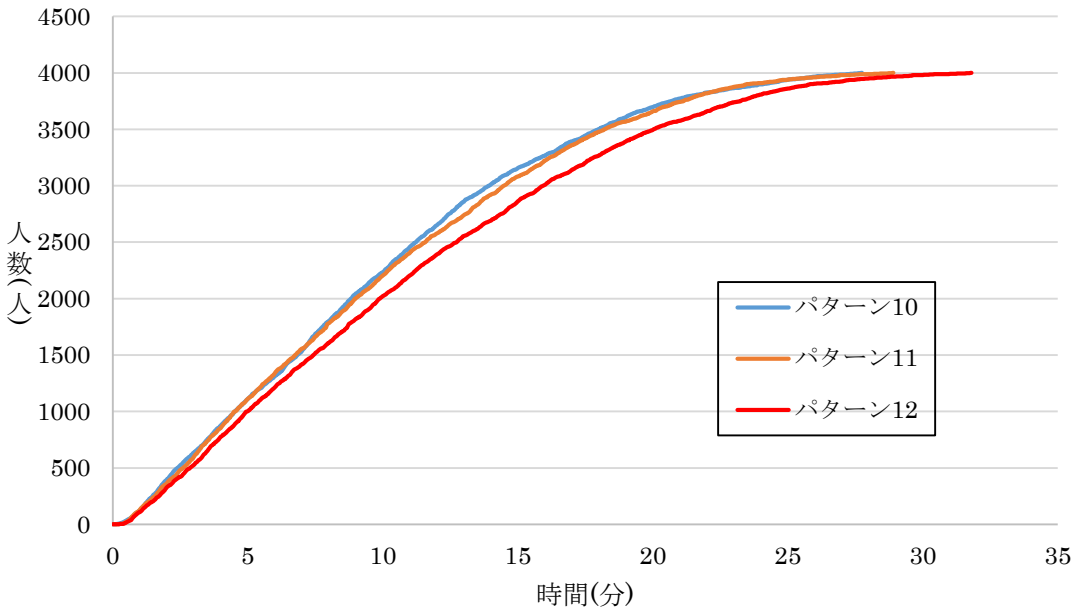

図 4.15　パターン別の避難者の推移

表 4.5　パターン別の避難完了時間

	パターン8	パターン9	パターン10	パターン11	パターン12
避難完了時間	21分51秒	23分9秒	27分45秒	28分54秒	31分47秒

4.4.5　考察

パターン 12 の経過時間による避難状況と火災の広がりを図 4.16-図 4.21 に示す。色は道ごとの避難者密度によって混雑度(人/㎡)を表しており、赤＞青＞緑の順で混雑度(人/㎡)が大きい。なお混雑度(人/㎡)の値は緑＜2、2≦青＜4、赤≧4 としており、混雑度(人/㎡)が 4 を超えた場合、首都直下地震避難対策等専門調査会報告の混雑度別の混雑の状況より人は自由に体を動かすことが困難となるので危険であると考えられる。

このパターン 8 からパターン 12 のシミュレーションでは市街地を避難場所として設定し、避難者がそれぞれ初期位置から最短距離をとって避難する。

図 4.14 から、パターン 8-10 の避難者推移の曲線には大きな違いが見られなかったが、表 4.5 から、避難完了時間に大きな差が生じている。避難完了時間までの時間差は、パターン 8 とパターン 9 では 1 分程度しか生じていないが、パターン 9 とパターン 10 では 4 分以上の差が生じている。このことから、市街地を避難場所として設定した場合、災害弱者が含まれる場合でも避難時間の遅延には大きく繋がることはないと考えられる。一方で、地震火災が①で発生したパターン 10 の場合、避難者の避難時間に大きな影響がでることが分かった。

災害弱者が含まれる場合でも避難時間に大きな遅延が生じなかったのは、市街地への避難経路がいくつかに分かれることによって、災害弱者が 1 つの経路に固まらず、混雑の原因にならなかったためであると考えられる。一方で、地震火災の発生で避難完了時間に差が生じたのは、①で火災が発生し、避難場所(図 4.16)への避難経路の 1 つが通行不可となり、いままでその避難経路を通っていた避難者が他の道に流入し、混雑が生じたためであると考えられる。

ここからは、地震火災が避難に影響を与えることが分かったので、火災発生箇所の数を変えたパターン 10-12 の比較によってどのような影響が生じるかを考察する。図 4.15 から、パターン 10-12 の避難者推移の曲線には大きな違いが見られなかったが、表 4.5 から、避難完了時間に最大 4 分の差が生じた。パターン 10 とパターン 11 では、避難完了時間に 1 分ほどしか差が生じず、火災の広がりによって避難者の避難状況に大きな影響が出る前に避難が完了した。一方、パターン 12 がパターン 10 と比べ避難完了時間に差が生じたのは、③の火災の広がりによって対象地域右下の避難場所(図 4.16)への避難経路が封鎖され、避難者が遠回りして避難しなければならなくなったためであると考えられる。

また、図 4.18-4.23 を見ると、避難開始 10 分後の段階で 2 本の主要道に避難者が密集し、大きな混雑を引き起こしている。この混雑によって避難時間の遅延が生じているので、避難誘導などの対策を行い、避難者を対象地域左下の避難場所（図 4.17）に逃がすことで火災時の

より効率的な避難に繋がると考えられる。

避難者が密集し、混雑が発生してしまう問題は生じたが、同時火災の条件下でどのパターンも指定避難場所に避難するより早く避難できることが分かったので、市街地を避難場所として設定するのは適切であると考えられる。

図 4.16　パターン 10、13 で封鎖された避難場所(Google マップに加筆)

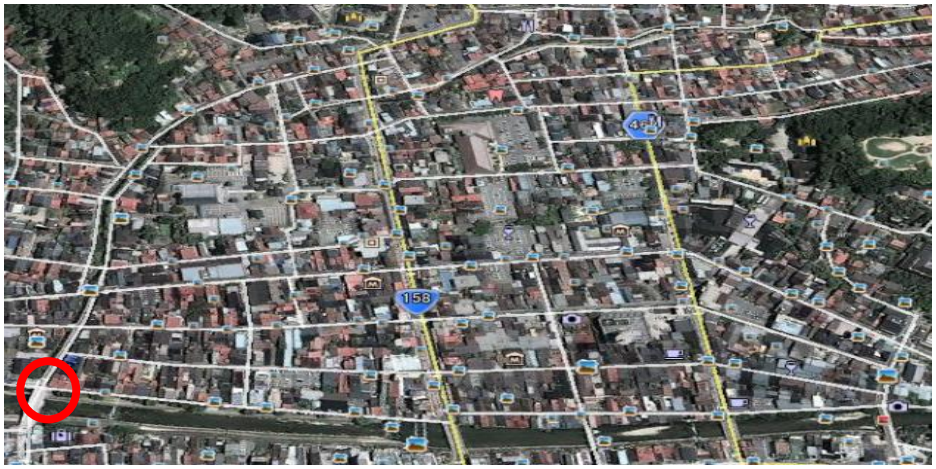

図 4.17　避難誘導先の避難場所 (Google マップに加筆)

図 4.18　避難状況と火災の広がり(避難開始直後)

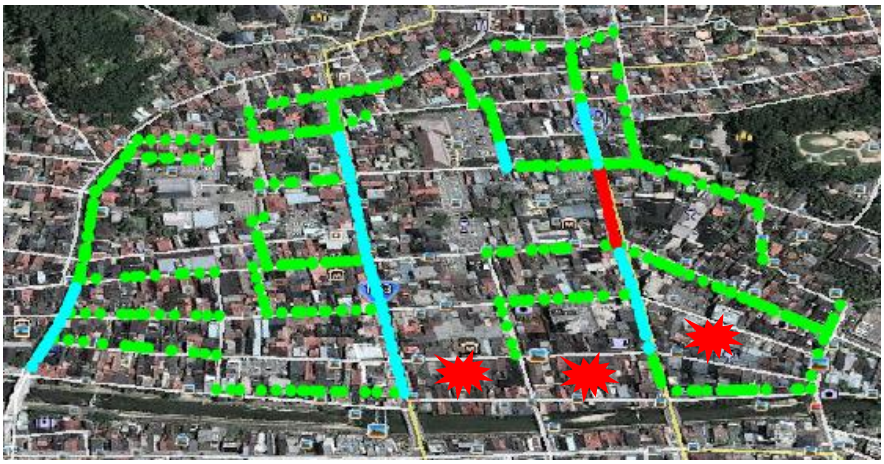

図 4.19　避難状況と火災に広がり(避難開始から 5 分後)

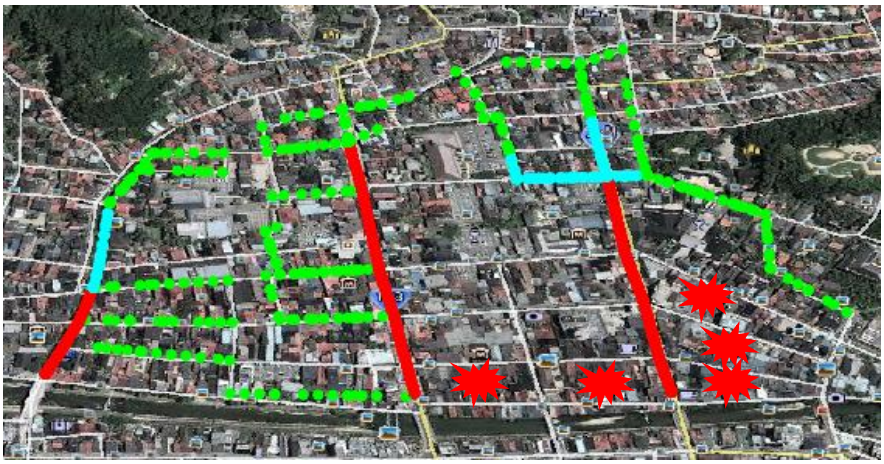

図 4.20　避難状況と火災の広がり(避難開始から 10 分後)

図 4.21　避難状況と火災の広がり(避難開始から 20 分後)

図 4.22　避難状況と火災の広がり(避難開始から 30 分後)

図 4.23　避難状況と火災の広がり(避難完了直前)

4.5　東地区における避難誘導の提案

前節 4.4 では東地区において火災が 3 箇所で発生した場合、2 本の主要道で混雑が発生することが分かった。よって本節では混雑発生箇所である 2 本の主要道に避難看板を設置したと仮定し、避難誘導を取り入れたシミュレーションを行うことで適切な避難経路の検討を行う。

4.5.1　避難看板について

避難看板は図 4.24 の 2 箇所に設置した。この場所は主要道の中でもパターン 12 において、一番避難者が多く流入し避難看板を見る避難者も多い、また火災の広がりによって通行不可にならないと考えたため避難看板設置位置に選定した。避難看板の効果については、避難看板を設置したからといって避難者全員が避難看板を見るとは限らないので、避難看板設置箇所を通った避難者の 2 割が避難看板を見ると仮定してシミュレーションを行った(パターン 13)。また避難誘導効果の比較のため、避難看板設置箇所を通った避難者の 4 割(パターン 14)と、10 割(パターン 15)が避難看板を見ると仮定した場合のシミュレーションも行った。避難看板を見た避難者は、混雑を回避するため図 4.17 の避難場所を目指すように設定した。

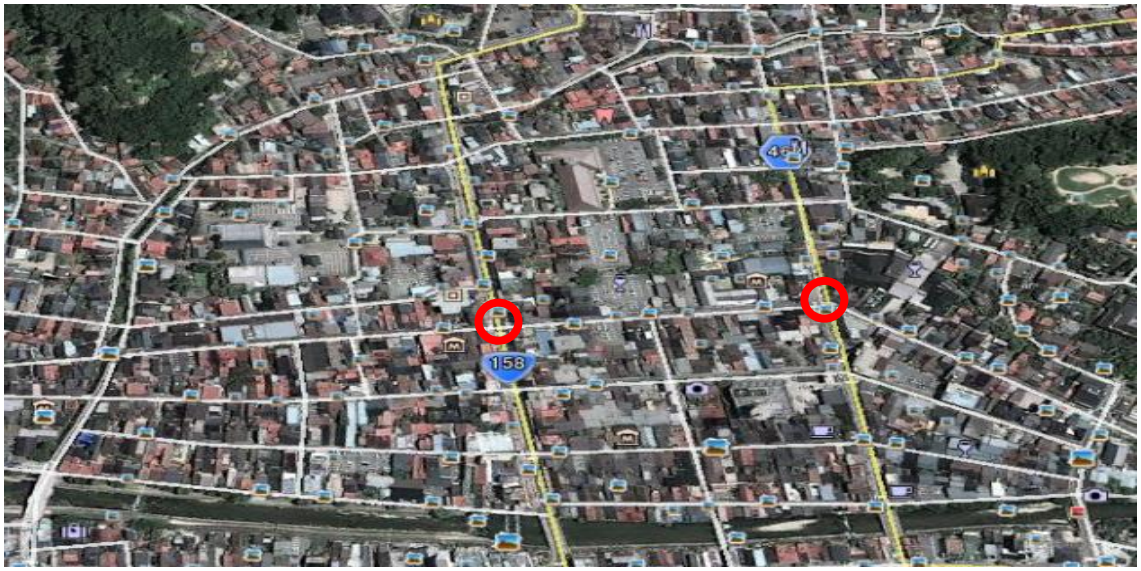

図 4.24　避難看板設置箇所(Google マップに加筆)

4.5.2　シミュレーション結果(避難誘導あり)

パターン 12、パターン 13、パターン 14、パターン 15 のシミュレーション結果の比較を図 4.25 に示す。またパターン 12、パターン 13、パターン 14、パターン 15 の避難完了時間を表 4.6 に示す。

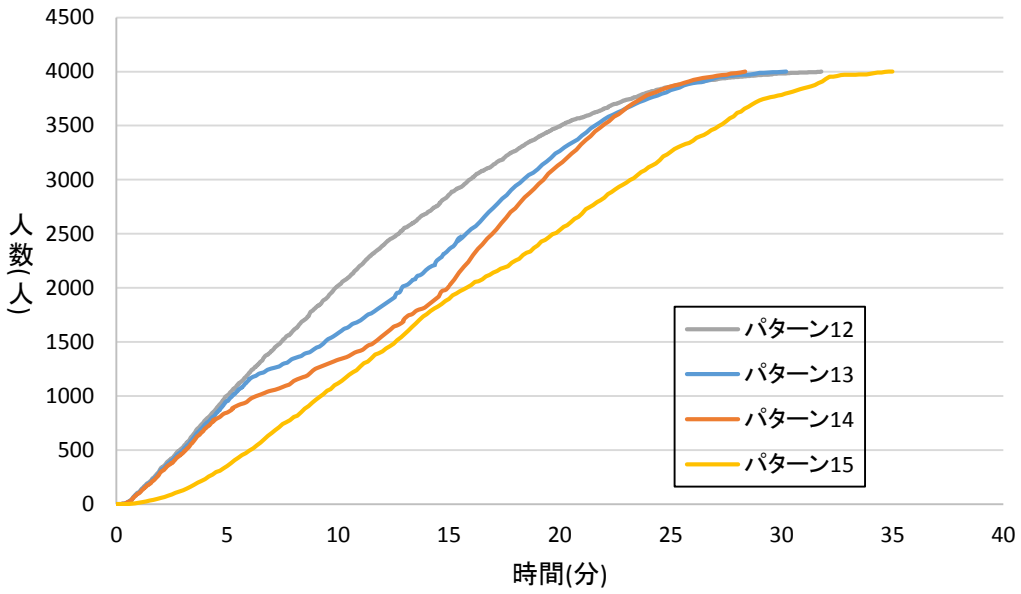

図 4.25　パターン別の避難者推移

表 4.6　パターン別の避難完了時間

	パターン12	パターン13	パターン14	パターン15
避難完了時間	31分47秒	30分2秒	28分21秒	35分

4.5.3　考察

パターン 14 の経過時間による避難状況と火災の広がりを図 4.27-図 4.32 に示す。色は道ごとの避難者密度によって混雑度(人/㎡)を表しており、赤＞青＞緑の順で混雑度(人/㎡)が大きい。なお混雑度(人/㎡)の値は緑＜2、2≦青＜4、赤≧4 としており、混雑度(人/㎡)が 4 を超えた場合、首都直下地震避難対策等専門調査会報告の混雑度別の混雑の状況 [2]より人は自由に体を動かすことが困難となるので危険であると考えられる。

パターン 12、パターン 13、パターン 14 を比較すると、避難者推移の曲線に大きな違いが見られた。パターン 12 では避難開始直後に避難者推移の増加率が大きく、後半につれて増

加率が小さくなっているが、パターン 13 とパターン 14 では避難開始直後はパターン 12 とあまり変わらない推移を見せているが、避難開始から 5 分前後から避難者推移の増加率は小さくなり、後半につれて緩やかに大きくなっているのが分かる。これは、避難看板を見た避難者が最短距離である避難場所ではなく図 4.17 の避難場所を目指し始めたため、結果的に遠回りをしてしまったためであると考えられる。しかし最終的には、避難看板を設置することで地域全体の混雑を多少解消し、最終的な避難完了時間を短縮できることが分かった。パターン 14 では 4 分近い時間短縮が可能であるが、避難看板設置箇所を通った 40%が避難看板を見ているという実際では厳しい条件なので、人が立って避難者に直接伝えるなどの避難誘導を行う必要があると考えられる。また、シミュレーションの特性上混雑が発生する前に避難看板を見た避難者が遠回りをしてしまう問題点が生まれたため、今後は渋滞発生時のみに避難看板を見た避難者は図 4.17 の避難場所を目指すという条件に変えることでより現実的な避難を再現できると考えられる。

パターン 15 の避難者推移はパターン 12-14 に比べて増加率が非常に小さく、避難完了時間もパターン 12-14 に比べて大きく遅れる結果となった。これは対象地域の上方から避難する避難者エージェントの大半が避難看板を見た時点で誘導先の避難場所を目指し始め、図 4.26 のような混雑が発生したためである。このことから、避難誘導による誘導率を大きくし過ぎると主要道以外の場所で混雑が発生してしまい、結果的に避難の遅延が生じることが判明したので、誘導する人数をいかに振り分けるかが課題として挙げられる。

図 4.26　パターン 15 における混雑状況

図 4.27　避難状況と火災の広がり(避難開始直後)

図 4.28　避難状況と火災の広がり(避難開始から 5 分後)

図 4.29　避難状況と火災の広がり(避難開始から 10 分後)

図 4.30　避難状況と火災の広がり(避難開始から 20 分後)

図 4.31　避難状況と火災の広がり(避難開始から 25 分後)

図 4.32　避難状況と火災の広がり(避難完了直前)

第 4 章の参考文献

1) 総務省消防庁：第 2 章　市町村における津波避難計画策定指針,2012 年
http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h24/tsunami_hinan/houkokusho/p02.pdf　(2015 年 2 月 9 日閲覧)

2))中央防災会議：首都直下地震対策等専門調査報告,2009 年
http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/　(2015 年 2 月 12 日閲覧)

第 5 章　結論

5.1　概説

本研究では岐阜県高山市の重要伝統的建造物群保存地区において災害時の避難シミュレーションを状況別に数パターン行い、適切な避難経路や避難場所についての検討を行った。

本章では、本研究のまとめ、今後の課題について述べる。

5.2　まとめ

1）西地区の避難シミュレーションでは、災害弱者を含んだ場合、避難完了時間に 2 分ほどの遅延が生じることが分かった。火災の影響については、火災が 1~3 箇所で発生した場合それぞれの避難完了時間の差が最大で 1 分しか生じなかったので、西地区における避難状況には、災害弱者を含む影響の方が大きく火災の影響は少ないと考えられる。

2）東地区において、市で指定されている避難場所である高山別院に対象地域内の避難者全員が避難した場合、高山別院に続く 3 つの経路すべてで混雑が発生することが分かった。また、そのうち 2 つの経路では災害弱者を含む場合、最大で 100m 以上の混雑が起きており、避難完了時間に大きく影響すると考えられる。したがって、指定避難場所である高山別院 1 箇所への避難は非効率的であり、安全性の面においても危険であると考えられる。

3）東地区において、市街地を避難場所として設定し、対象地域内の避難者をそれぞれ最短距離で避難させた場合、指定避難場所 1 箇所に避難者全員を避難させる場合に比べて、10 分以上の避難時間短縮に繋がることが分かった。

4）東地区において火災が発生した場合、その発生場所が市街地付近であるという条件下では火災の広がり方によって避難場所への経路が封鎖される可能性があり、避難者の避難状況に影響が出ると考えられる。また、火災の発生箇所、発生数によっては、避難場所までの経路が数箇所封鎖され、避難完了時間に最大で 4 分の差が生じた。

5）東地区において、市街地を避難場所に設定し、火災が数箇所同時に発生するシミュレーションを行ったが、そのすべてが指定避難場所へ避難する場合の避難時間より早く

避難できた。さらに、避難誘導を行うことによって混雑が改善され最大 4 分近い時間を短縮することが分かった。よって市街地を避難場所に設定したのは適切であり、避難誘導によって避難経路の設定もできたと考えられる。

6) 東地区における避難誘導を行ったところ、誘導率 40%では混雑解消と避難時間短縮に繋がったが誘導率を 100%にすると、他の場所で混雑が発生し避難時間の大きな遅延につながることが分ったので、避難誘導を行う際はいかに誘導人数を振り分けるかが課題として挙げられる。

7) 本研究で行ったシミュレーションは、岐阜県高山市の重要伝統的建造物群保存地区における火災時の避難行動を再現したものであるが、リンクの切断や渋滞時の表現などのシステムは他の重要伝統的建造物群保存地区における火災時避難行動だけでなく、津波避難など他の災害時にも応用させることができると考えられる。

5.3 今後の課題と展望

1) 本研究では、岐阜県高山市の重要伝統的建造物群保存地区を対象として避難シミュレーションを行ったが、より家屋の密集度が高い地域や観光客が多いといった、異なった特色を持った重要伝統的建造物群保存地区でも安全な避難方法として適応させる必要がある。

2) 本研究の避難シミュレーションは、西地区と東地区を完全に分けて行ったが、観光客など土地勘の無い避難者は当然東地区から西地区に出ることも考えられる。また、両地区を横断した方が安全なシチュエーションも起こりえることなので、西地区と東地区の避難を同時に考えたモデルを構築する必要がある。

3) 本研究では、火災の広がりを単純に円状に設定しているが、実際は風向きや建物の形式など様々な要因によって複雑な広がり方をすることが考えられるので、過去の統計や気象条件からより正確な火災の広がりを再現する必要がある。

4) 本研究で避難誘導を行った際、渋滞が発生する前に避難看板設置箇所を通った避難者が最短経路ではない避難場所を目指す行動をしてしまっているため、今後は渋滞発生時のみ避難看板を見るというような条件を加えることで現実に近い避難行動を再現する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多忙な研究活動の中、熱心かつ丁寧にご指導いただきました立命館大学理工学部　伊津野和行教授に心より感謝申し上げます。

また、本大学理工学部構造グループの野阪克義准教授および川崎佑磨助教、野村泰稔講師、株式会社　構造計画研究所の玉田正樹氏には懇切丁寧なご指導を頂きました。ここに、厚く感謝申し上げます。

更に、論文作成にあたり、防災システム研究室修士 1 回生の伊藤典昭氏、権納拓央氏、寺村直人氏、防災システム研究室 OB の皆様、防災システム研究室 4 回生の皆様のご協力、激励に対し心からお礼申し上げます。