

# 木造密集市街地における 避難シミュレーションを用いた路地の安全性評価法に関する研究

A Research on Alley Safety Evaluation Method Using Evacuation Simulation  
in Densely Built-up Wooden Area

角井孝行<sup>1</sup>・宗本晋作<sup>2</sup>

Takayuki Sumii and Shinsaku Munemoto

<sup>1</sup>中央復建コンサルタンツ株式会社 (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4-11-10)

CHUO FUKKEN CONSULTANTS CO.,LTD.

<sup>2</sup>立命館大学教授 理工学部建築都市デザイン学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Department of Architecture and Urban Design, Ritsumeikan University

The purpose of this paper is to provide a safety evaluation method for blind alleys in historic districts using evacuation simulation. This paper applies this method to the case of the north district of Kyoto city, where the wooden houses are standing close to each other and the most blind arrays remain. In our simulation, the width and length of the street, the population of the district, the location of the accommodation and the capacity are accurately represented on the map. The safety of alleys is evaluated by comparing the number of people passing by with and without utilizing alleys that can be passed through. We demonstrated proposed method by evaluating the possibility of passage of the found routes by the field survey.

**Keywords:** *Densely Built-up Wooden Area, Evacuation Routes, Blind Alleys, Evacuation Simulation*

## 1. はじめに

阪神淡路大震災から26年、東日本大震災から10年を迎える昨今、防災街づくりへの関心が高まっている。これらの震災において延焼や倒壊の被害が出た木造密集市街地では、建て替えを促す安全対策の制度が制定されてきた。建て替えには時間を要する上、建て替え不能な土地が残らないようにするには区画そのものを整理することが必要とされ、時間を要することが問題となる。たとえこの建て替え制度により安全性が確保されたとしても、歴史文化都市の景観保存という点では、歴史的な景観そのものがつくりかえられてしまうという懸念もある。

一方、木造密集市街地の路地には、行き止まりまでの長さが短いものや、大きな道路に接続するもの、路地に面する住戸数の少ないものもある。よって単に危険と評価しなくても良いものがあると考えられる。

そこで本研究では、歴史文化都市の景観保存と安全性の両立をいかに即効性のある方法で実現するかという立場で景観的に価値のある路地を活用し残していくために、路地の避難上の安全性を評価する方法を提案する。対象は、歴史文化都市の一つであり、多くの木造密集市街地を有し、これらの景観的価値を大切にすべき都市であることから京都とする。

具体的には、避難シミュレーションを用いて、路地に面する住戸数や宿泊施設、道路幅、大通りまでの接続長さや抜け道等を反映したマップ上で避難シミュレーションを行い、路地が避難上の安全に寄与するかどうかを評価する。安全に寄与できる路地を残し、活用できない路地は制度に基づいて改善を図る等、判断の

基礎情報になることが期待される。

既往の研究としては、雪谷<sup>1)</sup>や筆者の一人である宗本らは、GIS（地理情報システム）を用いて、京都市上京区を対象に木造密集市街地の袋路における避難経路を発見する方法を提案している。発見した袋路に繋がる経路を抽出し、抽出した経路が実空間で避難経路として通行可能かどうかの現地調査を行った。実空間とGISの情報空間での違いを確認し、GISを用いた避難経路の抽出方法の有効性を検証している。本研究は、避難経路の発見を研究成果とするものではない。発見した路地を避難経路として活用する場合の安全性を評価する方法を成果とする。そのため既往の筆者らの研究で避難経路として抽出した袋路を避難に活用する場合の安全性を比較考察するため、本研究では同じ上京区を対象とする。

その他の関連研究としては、大佛<sup>2)</sup>は、大地震による物的被害と避難行動に関するシミュレーションを実行している。独自に論文内で定義する避難困難率という指標を用いて密集市街地における避難危険度の評価を試みている。またシミュレーションモデルから、丁目別に避難困難率を求め、不燃化・耐震化の進捗状況と関連の深い指標との関係について考察している。馬淵<sup>3)</sup>は、世田谷区の木造密集市街地を例として建物の火災延焼の危険度を確率論的手法によって評価し、それを考慮した2段階避難モデルを構築し、避難シミュレーションを行い、災害時の効果的な避難方法の提案を行っている。

このように木造密集市街地の避難シミュレーションに関する論文は見られるが、路地、袋路の幅や奥行き長さや通り抜け可能な袋路を組み込み、路地そのものが避難上の安全に寄与するかどうかを評価しようとするものは見受けられない。

近年、京都市内では木造密集市街地内に民泊や簡易宿所ができています。京都は世界有数の観光地であり、木造密集市街地内の宿泊客を無視することはできない。そこで本研究では、路地の安全性を評価するシミュレーションにおいて、対象とする上京区の木造密集市街地の街路の再現に加え、住民は無論、宿泊施設の位置と収容人数を精確に把握し、ピーク時の利用者の状況を精緻に再現する。ピーク時の災害を想定した避難シミュレーションを行い、路地や袋路の安全性として評価する方法を提案する。

## 2. 研究の目的と方法

### (1) 研究の目的と方法

本研究では、京都市上京区の木造密集市街地を対象とし、住民数や宿泊施設の所在地、宿泊者数を反映した避難シミュレーションを行う。通り抜け可能な路地や袋路を避難経路として活用する場合の避難シミュレーション結果の比較により、路地や袋路が避難上の安全に寄与するかどうかを評価し、木造密集市街地の路地の安全性評価法として提案することを目的とする。

研究の方法としては、まずシミュレーションを行うための上京区の木造密集市街地の街路マップを作成する。次に各種公開されているデータに基づき、住民は地区ごと、宿泊者は宿泊施設の位置に合わせて収容人数に見合う数を設定し、その場所から避難するように位置づける。雪谷<sup>1)</sup>の論文で抽出された通行可能な路地を活用する場合としない場合のそれぞれにおいて避難シミュレーションを行い、対象とする路地周囲のエージェント数をカウントし比較することで、活用した路地が避難上の安全に寄与しているかどうかを示す。これまで危険と思われていた路地や袋路が、実際に避難経路に活用できる可能性を示し、提案する路地の安全性評価法の有効性を示す。地図作成にはVector Map Maker、避難シミュレーションには、S-Quattro Simulation Systemを用いる。

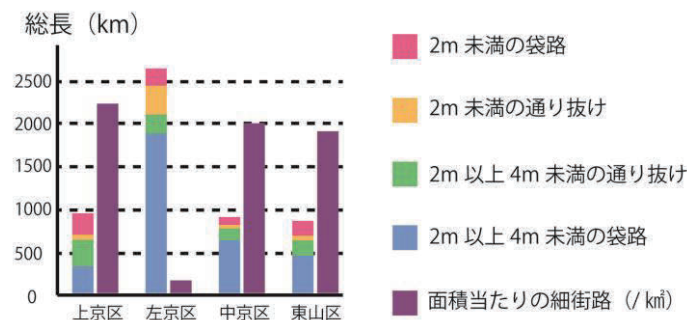


図1 京都市の細街路の長さ（km）と面積当たりの細街路

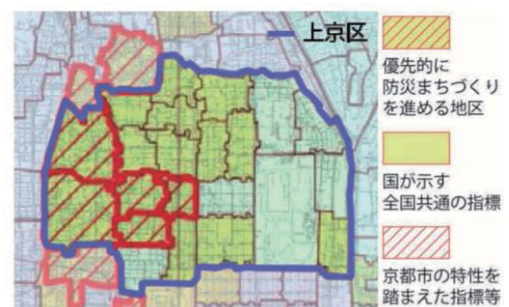


図2 上京区の優先的に防災まちづくりを進める地区



### 3. 避難シミュレーションの設定

#### (1) 対象とする上京区の木造密集市街地の路地や袋路

既出のように雪谷や筆者らの研究で避難経路として抽出した路地を避難に活用した場合の避難上の安全を比較するために同じ上京区を対象とする。京都市上京区は、図1のピンク色で示される細街路の総長は区の中で最も長い。紫色で示される面積当たりの細街路の値も最も高い。上京区は東山区より人口密度も高く、避難困難になる可能性の高い住民が最も多い区と考えられる(図1)。加えて京都市の発表している密集市街地対策等の取組方針<sup>4)</sup>の中で「優先的に防災まちづくりを進める地区」に選定されている地区(図2の赤斜線)も多い。

図1のように、上京区の街路の種別を建築基準法に則り道路幅員に基づいて、2m未満、2m以上4m未満、4m以上の3つに分類する。2m未満のものを危険視される細街路として扱う。細街路は地図情報だけでは存在が確認できていないものも数多く存在する。雪谷ら<sup>1)</sup>は、GISを用いてこれらを発見し、中には他の路地や広場に接続するものが実在し、通り抜けの状況を確認した。本研究では、発見した細街路を反映していない場合と反映した場合の避難シミュレーションの結果を比較するが、対象として引用するものを図3に一覧で示す。番号は路地を示す。路地ごとに鳥瞰写真上に写真①～③の位置を記し、概況を番号横に示す。番号に対応する路地の位置は図4にオレンジ色で示す。路地20、24、25、40、186は通行可能である。路地72、78、82は扉ありだが、扉は避難時には通行できるものとする。路地29、39、49、50は扉ありだが、路地を避難に活用するために扉は撤去したものとシミュレーションを実施する。本研究のシミュレーションにおいても同じ路地番号を用いる。

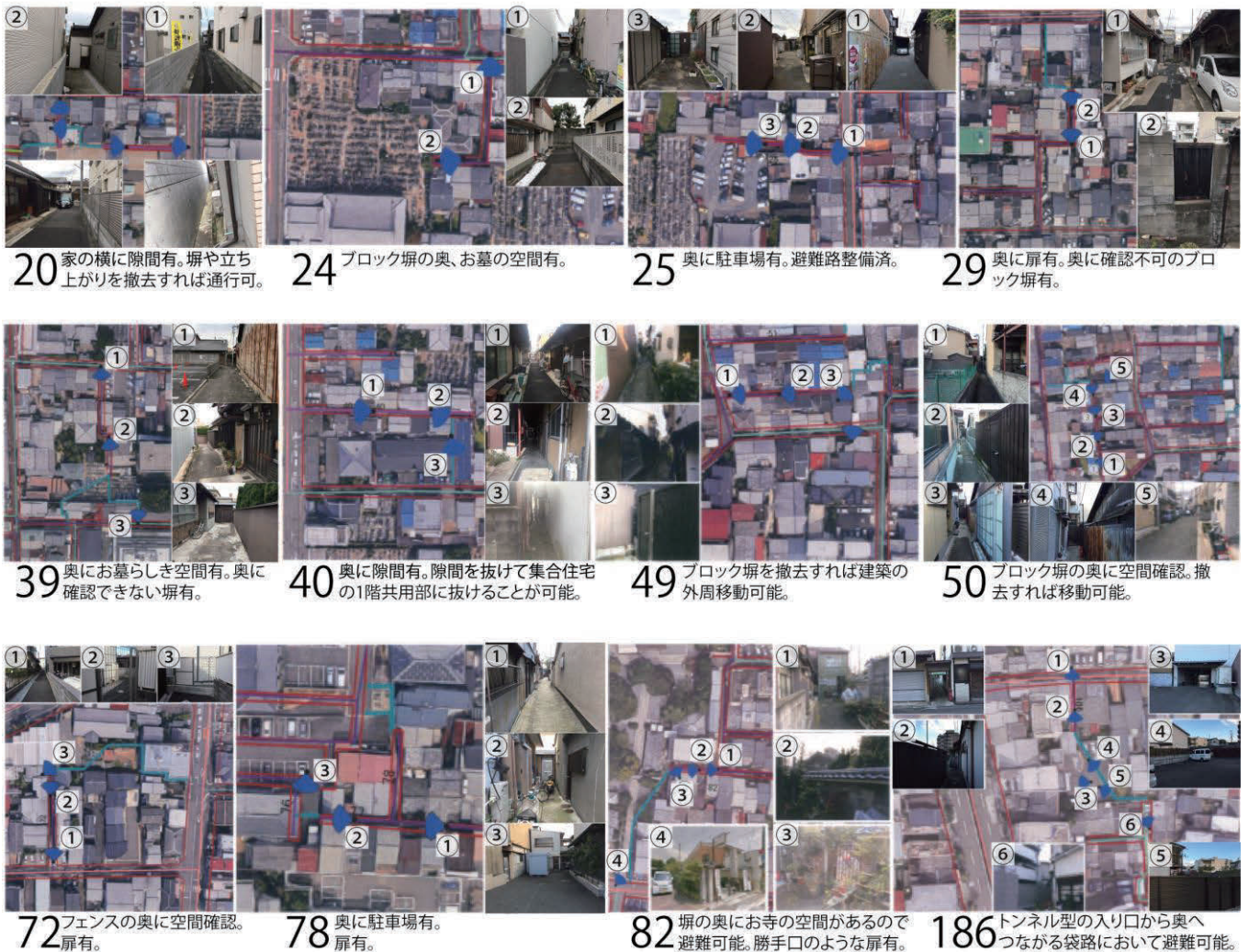


図3 本研究で用いる通り抜けの状況を確認した路地や袋路



## (2) 避難場所の設定

本研究のシミュレーションでは、住民や宿泊者が災害発生時に避難する場所を上京区の広域避難場所の指定箇所とする。京都市防災ポータルサイト「防災危機管理情報館」<sup>5)</sup>の避難所マップより対象敷地周辺の広域避難場所を抽出し、①～⑥としてプロットした(図4、表1)。対象敷地の住民や宿泊者は、①～⑥の最寄の広域避難場所に避難するものとする。

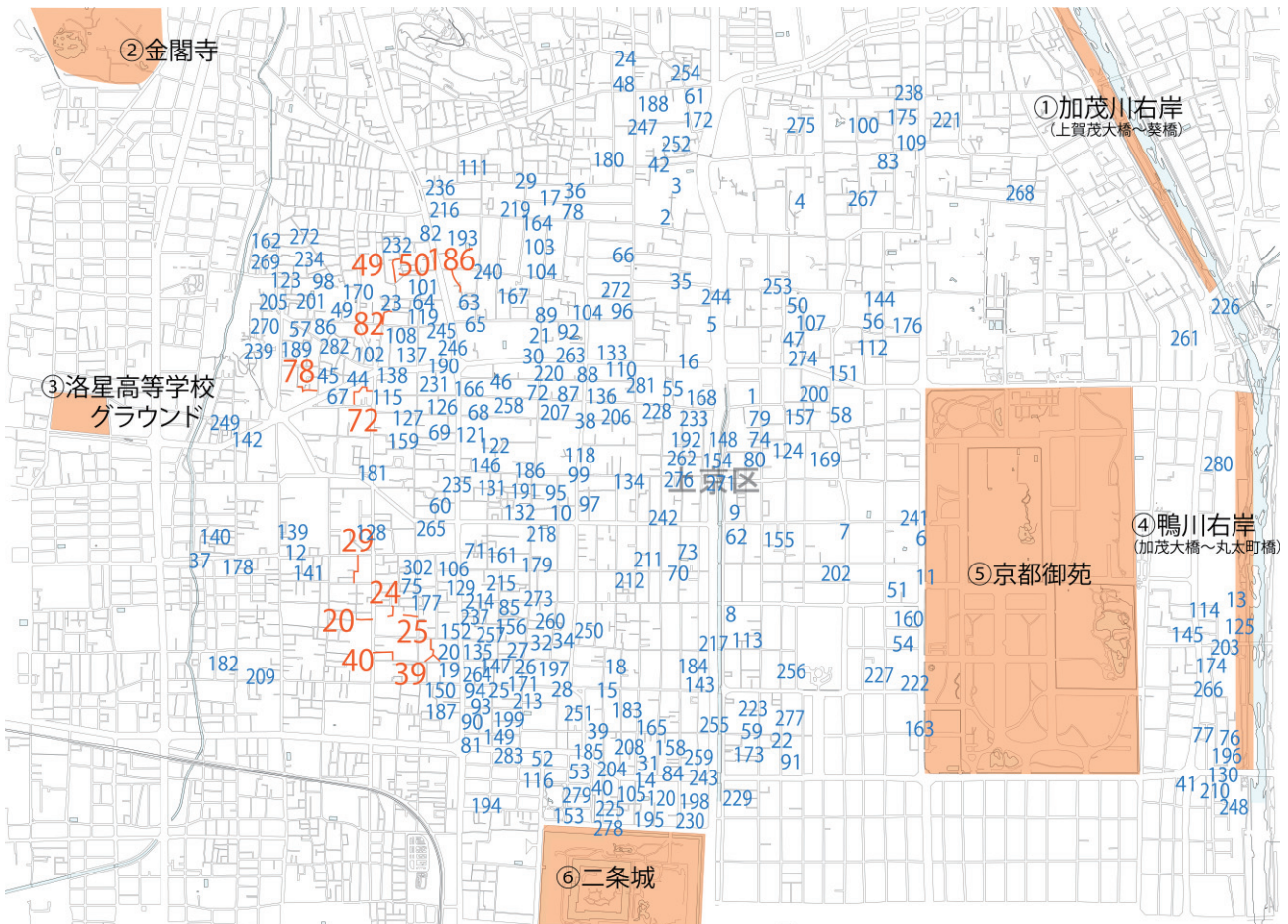


図4 上京区の通り抜け可能な路地と広域避難場所

表1 上京区の広域避難場所一覧

No.	名称	収容人員	面積(ha)
1	賀茂川右岸(上賀茂橋～葵橋)	20,000	2.25
2	金閣寺境内	5,000	1
3	洛星高等学校グラウンド	7,500	1.5
4	鴨川右岸(賀茂大橋～丸太町橋)	15,500	3.1
5	京都御苑	173,500	34.7
6	二条城	35,000	7

表2 上京区の宿泊施設と収容人数一覧

No.	宿泊施設名称	最大宿泊者数	平均宿泊者数
1	S荘	26	18
2	Rホテル	80	54
3	M寺	10	7
4	N寺	10	7
5	Cホテル	214	145
6	H会館	211	143
7	Bホテル	364	246

281	S苑	6	4
282	H宿	2	1
283	K宿	5	3
		4411	2982

## (3) 避難する住民数の設定

避難する住民数は、地区ごとに地区別人口に合わせて設定する。京都市統計ポータル<sup>6)</sup>より住民基本台帳人口の元学区別のデータを用いて、上京区の地区別人口を得る。地区ごとに人口を平均し、各経路地点からその数のエージェントが発生するように設定する。図5には表3に記載されている町(No.1～15)と成逸元学区を例として表示し、記載のない箇所は学区のみ示した。

表3 上京区の地区人口一覧

No.		人口総数
		75,630
	成逸元学区	2,629
1	瑞光院前町	78
2	天神北町	25
3	上天神町	105
4	下天神町	183
5	寺之内堅町	284
6	若宮横町	41
7	若宮堅町	126
8	筋違橋町	196
9	新町	88
10	北仲之町	101
11	仲之町	85
12	前之町	109
13	東千本町	140
14	西千本町	42
15	社突抜町	79
	⋮	
580	松蔭町	78
581	亀屋町(元春日学区)	36
582	荒神町(元春日学区)	41

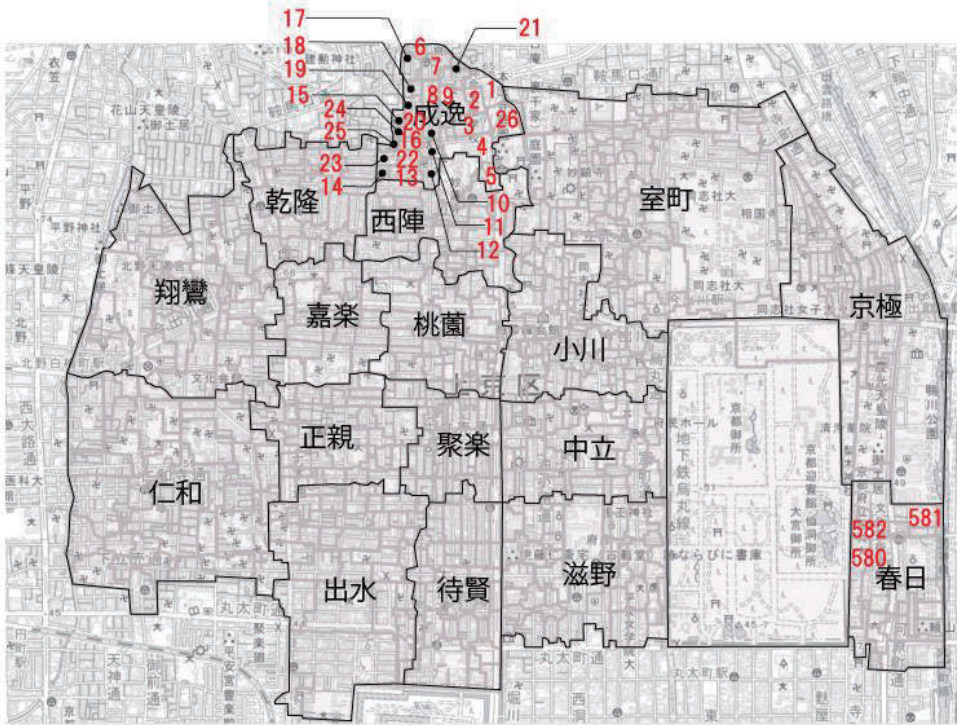


図5 上京区の地区の境界

(4) 避難する宿泊者数の設定

宿泊者数は、実在する宿泊施設の位置と収容人数に合わせて設定する。京都市オープンデータポータルサイト<sup>7)</sup>より、令和2年12月現在の京都市内において旅館業法第3条に基づく許可を受けた施設の一覧表を得る。宿泊施設の存在は公式ホームページもしくはホテル予約サイトにて確認した(表2)。確認した宿泊施設の位置は図4に青字で示す。

表2の最大宿泊者数は、ホテル予約サイトもしくは公式ホームページの宿泊プランや詳細情報から算出した。明示がない場合は、掲載サイトの室数とベッド数から割り出した。稼働率には、京都市観光協会の京都市旅館稼働実態調査<sup>8)</sup>の市内の客室の平均稼働率67.6%を用いる。存在を確認したすべての宿泊施設の最大宿泊者数に対し平均稼働率を掛け平均宿泊者数を算出し、この宿泊者が各宿泊施設から避難する設定とする。

4. 避難シミュレーションの実行結果と考察

(1) S-Quattro Simulation Systemでの設定

街路の幅や長さの情報を正確に用いるため、国土地理院が発行している基盤地図情報ダウンロードサービスVector Map Makerにより街路マップを作成する。これをDXFデータに変換し、避難シミュレーションを行うS-Quattro Simulation Systemにインポートし、S-Quattro Simulation System上で上京区の路地、袋路を含む街路を再現する。次に街区のマップ上で、表3の地区別人口に合わせて設定した住民数が各地区から、表2の平均宿泊者数が各宿泊施設の正確な位置から、それぞれ最寄の広域避難場所に向かって避難するとしてシミュレーションを実行する。

$$P_k = \frac{\exp(-\mu D_{kG})}{\sum_{k' \in R} \exp(-\mu D_{k'G})} \dots \text{式(1)}$$

$D_{uv}$  : 経路地点uからvの最短距離

$\mu$  : 最適化パラメータ(大きくなるとほぼ最適解を選択)

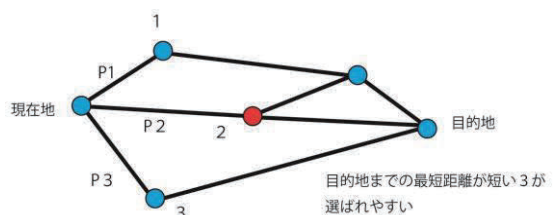


図6 エージェントの経路選択方法



## (2) エージェントの設定

エージェントの経路選択行動は図6の式(1)に従って実行されるとする。エージェントの移動速度は、日本建築学会の安全計画 I 安全計画の視点<sup>9)</sup>や日本建築センターの建築防災計画指針<sup>10)</sup>にある避難時の速い人の歩行速度を2.0m/秒、一般の歩行者は1.0m/秒に合わせて、エージェントの最高限度を2.0m/秒、最適速度を1.0m/秒とする。避難シミュレーションは、各経路地点から広域避難場所に向けて避難するエージェントの移動が完了するまで実行する。

## (3) 路地や袋路の通り抜けを反映しない場合と反映した場合の避難シミュレーションの実行結果の比較

図3の路地、袋路の通り抜けを反映していない場合と反映した場合の2つのシミュレーションを実行し比較を行う。図7に通り抜けを反映していない場合のシミュレーション結果を示す。灰色の番号は、通りの交叉点に限らない各場所を示す。3章で数を設定した住民や宿泊者は、このグレーの番号により避難を開始する位置が指定される。論文結果に直接関係しないので他の情報の判読性を挙げるために灰色の表記とした。避難する住民や宿泊者は、青い丸の粒のエージェントで表される。本シミュレーションでは、エージェントの移動が可視化され、エージェント数だけでなく、エージェントの移動が目で見えて遅くなり、滞留が発生することが示される。また路地の活用により経路が追加され、青い粒が減り、その移動が遅くなる現象が解消されることが目で見えて確認できる。図7における赤口と青口で囲む2つの範囲において、青い粒のエージェントの移動が遅くなり滞留の現象が見られたため、路地や袋路の通り抜けを反映している場合と通り抜けを反映していない場合のシミュレーション結果の比較は、この範囲に焦点を絞りにした。

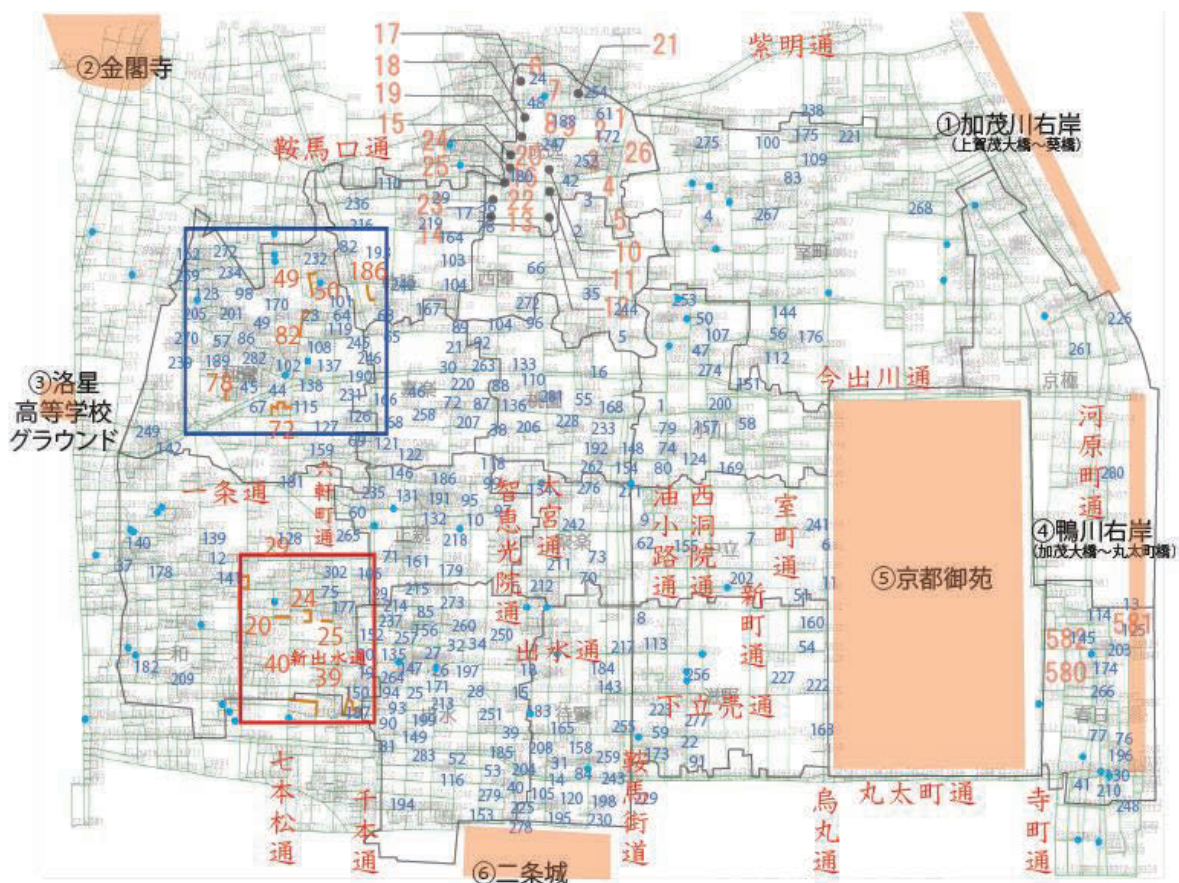


図7 通り抜けを反映していないシミュレーションの結果

図8左は青の範囲の図7を拡大したもので、路地や袋路の通り抜けを反映していない場合を示す。図8右は、図3に挙げる通り抜け可能な路地や袋路を反映した場合を示す。図7と同様、灰色の番号は場所を示し、指定された住民や宿泊者がこれらの番号の地点から避難を開始し、青い丸の粒のエージェントとして表される。

通り抜けとして追加した路地や袋路を赤線で示し、路地の番号を赤の数字で示す。図8左において、路地50と路地82の間では青い粒で示されるエージェントが11個、82番の下側では6個あり、路地50と路地82の間において青い粒の移動速度が低下し、避難時に滞留が発生していた。滞留が発生しているのは、六軒町通りの西側の細い南北の通りで、路地50や路地82含めてこの通り以西に、南北方向に抜けられる道はしばらくはない。そのためにここで滞留が発生していると考えられる。

図3のように路地50はブロック塀を撤去すれば通行可能になる。路地82は扉を開放すれば、通行可能になる。路地50と路地82を通行可能にした場合、図8右に示されるように、図8左で滞留の発生していた路地50と路地82の間は青い粒で示されるエージェントが1個となり、移動速度の遅い青い粒が減り、路地50において滞留が発生していないのが分かる。路地82の下側の青い粒はなくなっている。このように路地50、82の通り抜けの確保により、移動時間の遅い青い粒が減少し、発生していた木造密集市街地の避難時における滞留が解消されることを示した。

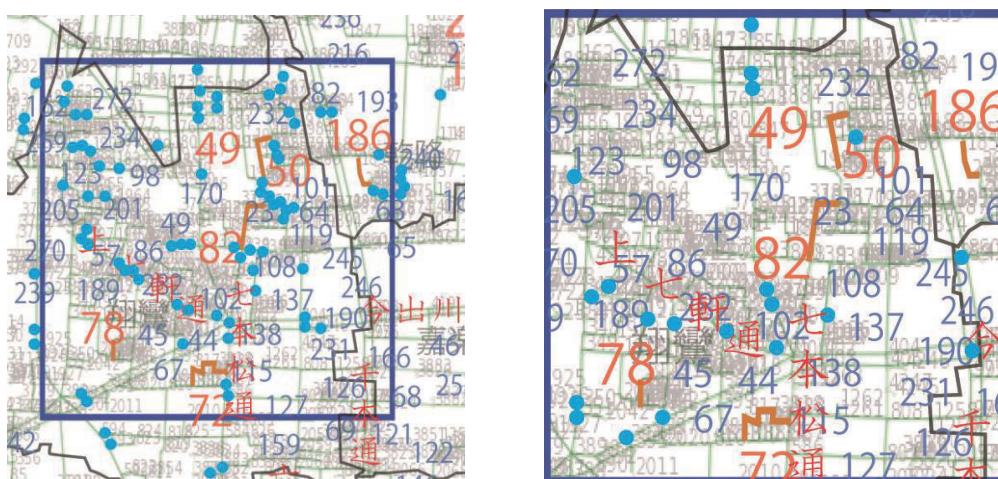


図8 青の範囲における路地の通り抜け反映前と後のシミュレーション結果の比較

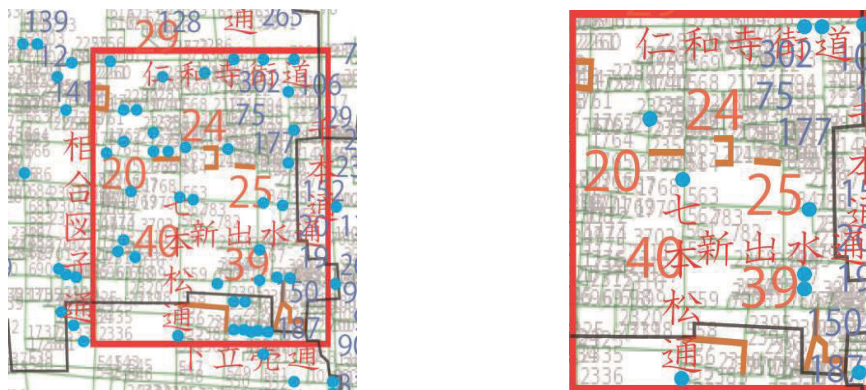


図9 赤の範囲における路地の通り抜け反映前と後のシミュレーション結果の比較

図9左は赤の範囲の図8を拡大したもので、路地や袋路の通り抜けを反映していない場合を示す。図9右は、図3に挙げる通行可能な路地や袋路を反映した場合を示す。図7と同様、灰色の番号は場所を示し、指定された住民や宿泊者がこれらの番号の地点から避難を開始し、青い丸の粒のエージェントとして表される。通り抜けとして追加した路地や袋路を赤線で示し、路地の番号を赤の数字で示す。図9左において、路地39左上、路地40右上の間に青い粒で示されるエージェントが7個あり、避難時には滞留が発生することが分かる。滞留が発生しているこの通りは、新出水通りと呼ばれる細い通りで、七本松通り以东の路地39、路地40周辺は、千本通りとの間に南北に抜けられる道が一つしかないためと考えられる。

図3のように、路地39は塀を撤去すれば通行可能になる。路地40は奥の隙間を通り抜けることが可能である。路地39と路地40を通行可能にした場合、図9右に示されるように、図9左で滞留の発生していた路地39左上と路地40右上の間に滞留は発生せず、通り抜けが完了しているのが分かる。このように袋路の通り抜けを確保することにより避難経路が増え、木造密集市街地の避難時における滞留が解消されることが示された。



このように図3の雪谷らりの通り抜け可能な路地、袋路の通り抜けを反映することにより、エージェントの滞留が解消される。通り抜け可能な路地や袋路を避難路として活用すれば、避難上の安全に寄与することを示した。

## 6. まとめ

本研究では、対象敷地を京都市上京区とし、Vector Map Makerにより得られた街路の幅や長さが正確な地図を用いて、町別の人口や宿泊施設の平均宿泊者数、広域避難場所の情報を地図上に反映し、S-Quattro Simulation Systemを用いて避難シミュレーションを行った。筆者の既往研究<sup>1)</sup>で発見した通り抜け可能な路地を避難経路として活用する場合と活用しない場合の2通りの避難シミュレーションの結果を得た。通り抜け可能な路地や袋路周囲のエージェント数を比較することで、路地や袋路を避難経路として活用すると滞留がなくなり、避難上の安全に寄与するものが存在することを示し、本研究で提案する路地の安全性評価法の有効性を示した。

これまで危険視されてきた路地、袋路の中には避難経路として有用なものもあり、危険視だけをしなくてもよいと言える。避難シミュレーションに基づく安全性評価の裏付けや精度の向上、他の都市や地域の木造密集市街地での試行など今後の課題もある。これまで常に建替を前提としていた細街路対策と異なる新たな対策を考えるきっかけになること、路地や袋路の避難上の安全に寄与するかどうかの判断に対する評価の見直しなど、都市計画においての活用が期待される。

## 参考文献

- 1) 雪谷亮太、宗本晋作、山田悟史、北本英里子：『GISを用いた木造密集市街地における袋路の避難経路の抽出方法に関する研究』歴史都市防災論文集Vol.11 2017年7月
- 2) 大佛俊泰、沖拓弥：『密集市街地における大地震時の避難困難率について』日本建築学会計画系論文集 第77巻第681号、2561-2567、2012年11月
- 3) 馬淵ゆみ、瀬尾和夫、元木健太郎、上田 遼：『木造密集地域における地震時の広域火災に対する避難計画に関する研究』地域安全学会論文集 No.10、2008年11月
- 4) 歴史都市京都における密集市街地対策等の取組方針：p2-11 2012年7月
- 5) 京都市防災ポータルサイト「防災危機管理情報館」
- 6) 京都市統計ポータル：2021年1月
- 7) 京都市オープンデータポータルサイト：2020年12月
- 8) 京都市観光協会 京都市旅館稼働実態調査：2020年9月
- 9) 日本建築学会編：安全計画Ⅰ 安全計画の視点、彰国社、1981.
- 10) 建設省監修：新・建築防災計画指針1985年版、日本建築センター、1985.