

# 歴史都市・京都における地震火災リスクに関する研究

## Study for Post-Earthquake Fire Risk of Historic City Kyoto

田中 喙義・樋本 圭祐・西野 智研

Takeyoshi TANAKA, Keisuke HIMOTO, Tomoaki NISHINO

### 1. はじめに

歴史・文化都市として世界的にも名高い京都市には夥しい文化遺産が集積している。これらが歴史の風雪に耐えて今まで存続出来た背景には、これらの多くが以前は概して市街地とは隔離していたため市街の火災に巻き込まれることが少なかった幸運も関係している。しかし、近年の市街化の進展は、これらの文化遺産建築物の多くを木造市街地の中に取り込むようになってきた。一方これらの文化遺産は国の内外から多くの観光客を京都市に誘引している。もし京都が大地震に見舞われた場合には、多くの文化遺産のみならず京都市民や観光客も地震火災に巻き込まれる危険が危惧される。しかし従来市街地火災延焼予測手法は既に現代の市街地の状況に合わなくなり、地震火災による危険を適切に予測・評価する手段は失われている状態であった。本研究は、新たに物理的基盤に立脚した市街地火災延焼モデル・都市避難モデルを開発し、これを用いて現状の京都市の地震火災による危険度と、地震火災に備えた対策の効果の適切な評価手段を提供することで、歴史的景観・環境と調和した防災まちづくりに資することを目的とする。

### 2. 歴史環境と調和した防災まちづくりに関する研究

木造建築物が軒を連ねる京都市の歴史遺産建築物周辺市街地や伝建地区は、日本の歴史・伝統の中で育まれてきた諸外国に類例の無い我が国独自の都市景観を継承する上で重要性が高いが、反面で地震火災のように公設消防力の対応が制約されたときの延焼危険に対しては非常に脆弱な性格を持っている。特に、伝統的木造市街地の建物に見られる木部を露出したファサードは、伝統的市街地景観の重要な要素となっているが、隣接する建物からの延焼に対しての大きな弱点となっている。

このような特徴ある市街地を地震火災に対して抵抗力を持つよう改良するための対策には特別な配慮が必要となることは誰も理解するところであろう。例えば道路の拡幅、RC 構造や鉄骨造建物などでの不燃化のような、一般的手法によれば、伝統的市街地に特徴的な景観そのものを損ないかねない。このため、まちなみ景観に悪影響を及ぼさないような建物の部分的改修や消火設備の整備などの対策を工夫する必要がある。

有効な対策についての指針を得るためには、各種防火対策の効果を比較評価できることが不可欠である。従来、市街地火災の延焼評価には、俗に浜田式と呼ばれる過去の市街地火災の延焼データに基づいた統計的なマクロモデルが用いられていた。しかし、市街地火災が低頻度災害となった今日では、現代の市街地状況に合致するように統計的モデルを更新することは不可能

になっており、また伝統的な木造市街地では、建物の部分的改修のように建築部材レベルの比較的小規模な対策、あるいは散水設備や住民の消火活動のように非建築的な対策も考慮しなければならない。一方で、現在ではコンピューターの能力の長足の進歩と市街地建物に関する電子データの整備により、延焼予測において市街地の家屋状況をマクロに平均化する必要は薄れ、マイクロな視点で個々の家屋ごとに扱うことが可能になった。このため、本研究での延焼モデルでは、市街地火災を個々の建物の燃焼の集合と捉え、物理的基盤にたったモデルを構築した。これにより多様な対策の効果を組み込むために必要な延焼メカニズムが陽に定式化され、かつ、壁や開口部と言った小規模な空間スケールの対策の有効性を評価することも可能になった<sup>[1-11]</sup>(図 1)。

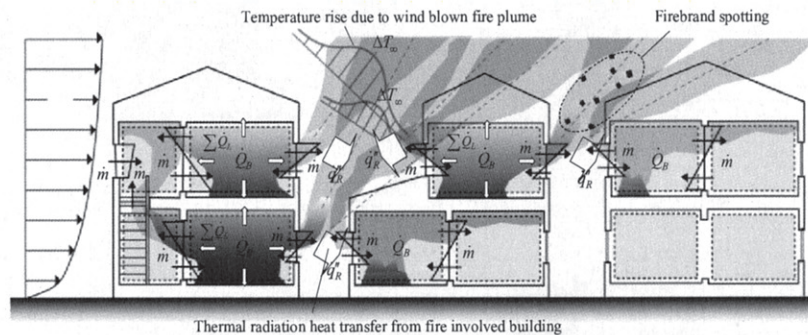


図 1 都市火災の物理的延焼性状予測モデル

本年度の研究では、これまでに開発してきた延焼モデルを GIS に統合し、各種対策の有効性を評価可能な防災まちづくり支援システムの開発を行った。本支援システムでは、対策の検討条件の設定、数値シミュレーションの実施、対策前後の焼失被害の比較といった一連の作業を、GIS インターフェース上で一元的に扱うことが可能となっている。

本支援システムを利用した防災対策の有効性評価のケーススタディとして、京都市東山区を対象とした検討を行った(写真 1、2)。対象とした市街地は、重要文化財等に指定される社寺建築物が数多く集積すると同時に、それを取り囲むように、町家に代表される伝統的な木造建築物が建ち並んでおり、防火上の配慮が特に必要な市街地である。



写真 1 東山区法観寺周辺の町並み 写真 2 計算対象市街地の航空写真

ここでは、住民による消火活動の有効性を検証するため、地域内に消防用可搬ポンプならびに防火水槽が整備された場合の延焼危険性の低減効果を調べることにした。まず、消火活動で



利用される消火用機材・水利の設置場所や属性に関する情報を入力し、これを延焼モデルで読み込み可能なデータ書式に変換する(図 2)。これをもとに延焼シミュレーションを行った様子を可視化したものが図 3 である。ここでは、赤く着色した建物が燃焼中の建物、黒く着色した建物が焼失した建物を示している。また、出火点を赤い矢印で示し、その時点で消火活動がおこなわれている建物を水色の枠線で囲ってある。これによると、燃焼領域の拡大に伴って消火活動の対象建物も外縁部に移っていく様子が捉えられているが、燃焼している建物に対して消火活動で利用可能な機材が少なく、鎮火するまでには至っていない。

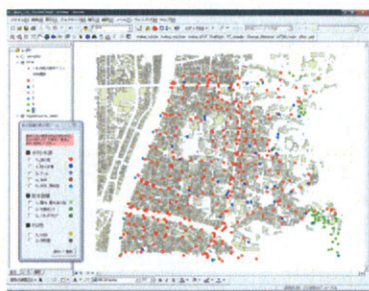


図2 計算条件の設定

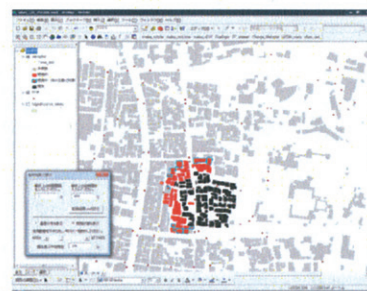
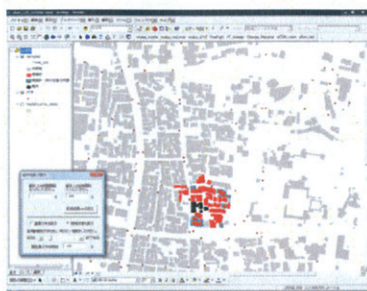


図3 計算経過の出力画面

こうした計算を消火活動が行われない場合についても実施し、最終的な焼失範囲の比較を行ったものが図 4 である。今回の検討条件では、消火活動がある場合においても火災の延焼拡大そのものは許してしまったものの、消火活動がなされなかった場合と比べると、焼失範囲が半減する結果が得られた。

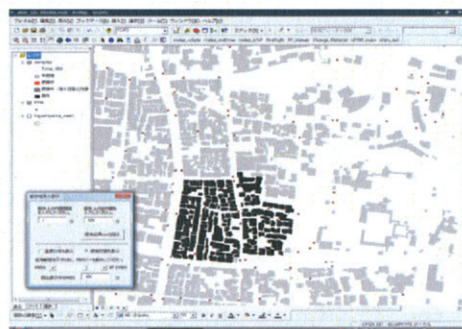
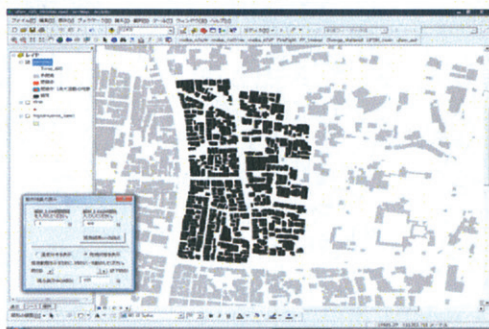


図4 焼失範囲の計算結果(左:消火活動のない場合、右:消火活動のある場合)

### 3. 地震火災時の都市住民避難性状の推定に関する研究

幾多の貴重な文化遺産が集積している京都市には内外から毎年 5,000 万人規模の観光客が訪れる。この数は、一日当たりで換算すると約 15 万人であるが、春秋の観光シーズンには、この何倍かの人数に膨れ上がると考えられる。また京都市も我が国有数の大都市であり約 140 万人の住民人口を有する。この規模は地震火災で何万人もの犠牲者がでた関東大震災時の被災地域の人口を上回る。木造市街地の多い京都市では、このような地震火災時の住民・観光客の避難対策にも配慮が必要である。そのためには先ず都市住民の避難性状の予測手法が必要とされるが、100 万人を超える膨大な避難者の行動を追跡するためには効率的な計算手法の開発も必要

となる。本研究では火災や熱気流・煙に暴露される避難空間を危険度ポテンシャル場と考えたモデルを開発してきた<sup>[12-16]</sup>。

図5は、ポテンシャル法に基づく地震火災時の住民避難性状予測モデルの概念を示したものである。ここで言うポテンシャル法とは、火災や熱気流・煙への暴露により避難者にもたらされる危険レベルが、火災の進展に応じて変化しながら空間的に分布するポテンシャル場を考え、避難者はこのポテンシャル場の値が下がる方向、すなわち安全な方向に避難するとするものである。このとき、地震火災時の住民避難性状予測モデルは、

- A) 延焼火災からの火災気流と輻射伝熱に基づく危険度ポテンシャル評価モデル
- B) 避難場所に対する住民の心理的な指向性に基づく安全度ポテンシャル評価モデル
- C) 避難行動の指標となる総合ポテンシャルに基づく住民の移動モデル

から構成される。危険度ポテンシャルは、市街地風に吹き倒された複数の火災気流による温度上昇と火災建物からの輻射伝熱に基づいて計算される。

図6は、関東大震災の延焼動態図から火災の時々刻々の発熱速度を推定し、これから火災気流に曝される市街地の温度上昇の様子を再現したものである。関東大震災時の避難者が遭遇した避難空間は強風に吹き倒された火災の熱気流・煙に覆われる危険極まりない市街地であったと考えられる。

一方、安全度ポテンシャルは、避難場所などの安全と認識される空間へ避難者が心理的に指向するレベルを表す仮想的な心理場であり、避難場所で最小値をとるものとする。避難者の移動方向は、このように評価された2種類のポテンシャルを合成した総合ポテンシャルの勾配に従うものとし、ポテンシャルの高い地点から低い地点へと避難経路ネットワーク(道路網)上を移動するものとする。

避難者は避難経路上を熱気流や輻射熱の曝されながら避難する。そして、その累積熱暴露量が限界値に達すれば「避難不能」になるものとし、それまでに避難場所へ逃げ込むことができれば「避難完了」になるものとする。

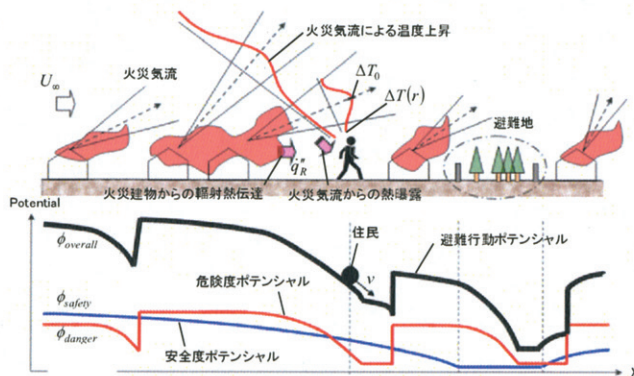


図5 住民避難性状予測モデルの概念図

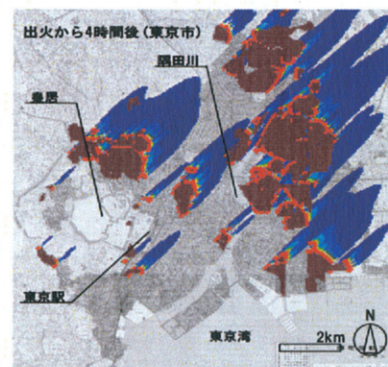


図6 関東大震災の火災気流予測

図7は、計算を行うにあたって設定した計算領域、避難経路ネットワーク、避難場所(黄色)、および出火点の分布(赤点)を示したものである。計算時間は出火から24時間、計算時間ステップ



は 1min と設定した。計算対象人数は、計算領域に含まれる町丁目の夜間人口から 1,097,956 人とし、その初期位置は町丁目の位置に基づいて配置した。避難場所については、京都市地域防災計画において広域避難場所に指定されているもののうち、計算領域に含まれる 50 か所を設定した。さらに、その収容可能人数については、避難者 1 人あたりの占有面積を  $2.0\text{m}^2$  として、避難場所の有効面積から算出した。

住民避難シミュレーションを行うにあたって必要となる地震火災の燃焼領域の時間変化については、筆者らが開発した地震火災の物理的延焼性状予測モデルを用いて計算した。出火件数は 100 件とし、その発生分布は地域の出火危険度に基づいて一様乱数を発生させることにより設定した。なお、この方法による出火点位置は乱数を発生させるごとに違ったものになるが、市街地全体で見た時の出火点密度の分布は大差のないものとなる。気象条件については、気温は  $20^\circ\text{C}$  で、 $10.0\text{m/s}$  の風が西から吹いているものとし、時間によらず変化しないものとした。図 8 は、延焼モデルにより予測された出火から 24 時間後の延焼火災の様子を示したものである。強風に吹き倒された火災気流や飛び火の影響により、延焼火災は主に風下側へ拡大していき、最終的に 81,022 棟が焼失する結果となった。

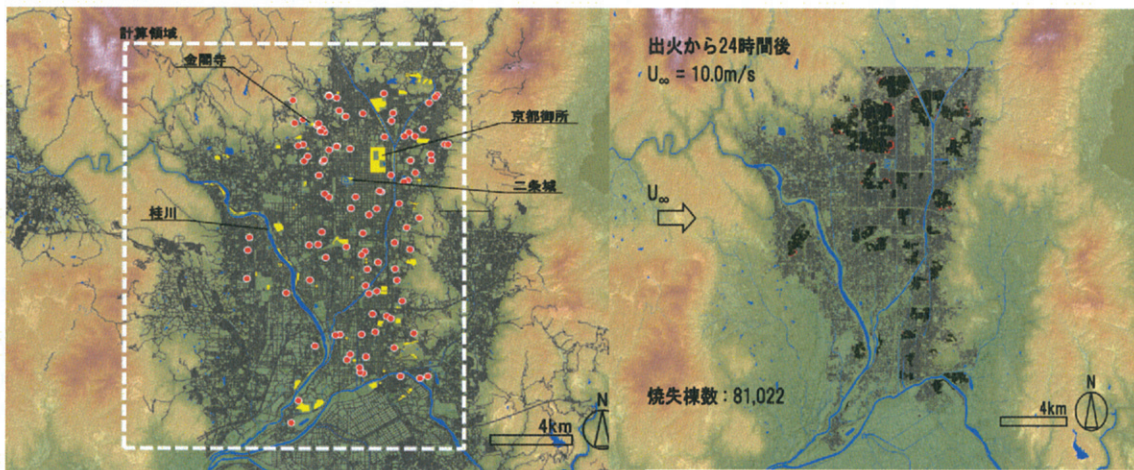


図7 京都市街地の様子

図8 出火から24時間後の延焼火災の様子

計算終了時点における避難者数は 246,279 人で、うち避難を完了した人数は 196,125 人、避難不能となった人数は 6,781 人と計算された。図 9 は、本モデルにより計算された国勢統計区の人口に対する避難者数の割合を示したものである。図 9 から、出火が発生した地区で避難率が高くなっていることが分かる。特に、図 9 の点線で囲まれた地域では多数の出火が集中したことから、50%以上の住民が避難行動を開始した地域が連なる結果となった。

図 10 は、本モデルにより計算された避難不能者の発生分布を示したものである。図 10 の点線で囲まれた地域に、避難不能者が集中していることが分かる。この要因として、図 9 に示す避難者の発生分布と同様に、この地域に多数の出火が集中したことが挙げられるが、加えて、この地域では多数の木造建物が特に密集しており、火災の拡大速度や火災から風下側への熱的影響が著しかったことも考えられる。

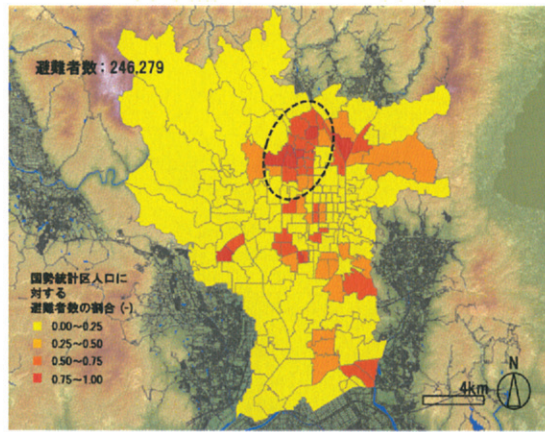


図9 国勢統計区における住民の避難率

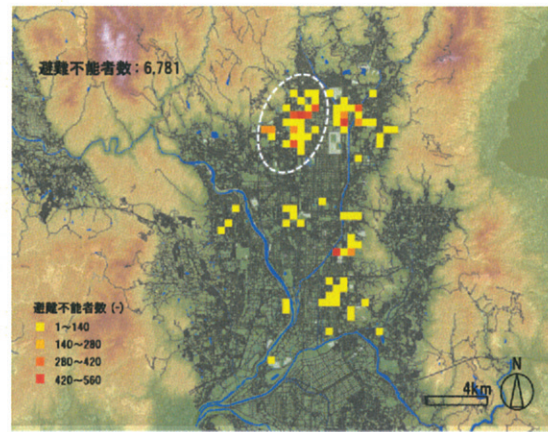


図10 避難不能者の発生分布

#### 4. まとめ

京都市の歴史的・文化的遺産である建築物や街並みは景観的にも美しく、居住者や訪問者に歴史の深みを感じさせるとともに精神的な安らぎを与えているかけがえの無い資産である。このような我が国の歴史・文化を代表する遺産に対する現下での最大の脅威は地震火災であろうと考えられる。その保護のための対策は歴史的・文化的遺産だけでは困難であって、周辺の市街地、住民などが一体となって協力しあうことが必要と考えられる。また歴史的・文化的遺産は活力のある都市でなければ継承は出来ない。防災だけのインセンティブでは継承のための力が不足すると考えられる。景観・環境・都市の活力と調和するものである必要があり、多角的な知恵を結集して総合的な方策が練られなければならない。その対話に必要な客観的データを提供することが本研究の目指すところと言えよう。

#### 参考文献

- [1] Himoto, K. and Tanaka, T.: A Physically Based Model for Urban Fire Spread, Fire Safety Science, Proc. of the 7th Int'l Symposium, pp129-140, 2002
- [2] 樋本圭祐・田中哮義: 区画間の火災拡大を考慮した建物燃焼性状予測モデル、日本建築学会環境系論文集、No.573、pp.1-8、2003
- [3] 樋本圭祐・土橋常登・田中義昭・田中哮義: 給気した火災室の開口から噴出する火炎・熱気流の温度と軌跡～開口噴出火炎・熱気流による火災拡大に関する研究 その 1～、日本建築学会環境系論文集、No.598、pp.1-8、2005.12
- [4] 樋本圭祐・土橋常登・田中義昭・田中哮義: 開口上方壁面の影響を考慮した噴出火炎・熱気流の軌跡モデル、開口噴出火炎・熱気流による火災拡大に関する研究 その 2、日本建築学会環境系論文集 No.607、pp.1-8、2006.9
- [5] 樋本圭祐・田中哮義: 都市火災の物理的延焼性状予測モデルの開発、日本建築学会環境系論文集 No.607、pp15-22、2006.9



- [6] 樋本圭佑・幾代健司・秋元康雄・北後明彦・田中哮義:放水の物理的火災抑制効果に着目した地域住民の消火モデル、日本火災学会論文集、Vol.56、No.3、pp9-20、2006
- [7] 樋本圭佑・田中哮義:延焼シミュレーションによる歴史的市街地の火災安全対策の検討、歴史都市防災論文集、Vol.1、pp21-26、2007.6
- [8] 樋本圭佑・秋元康男・北後明彦・田中哮義:伝統的木造密集市街地の延焼火災リスク評価に関する基礎的検討、歴史都市防災論文集、Vol.2、pp7-14、2008.10
- [9] Himoto, K., Tanaka, T.: Development and Validation of A Physics-based Urban Fire Spread Model, Fire Safety Journal, Vol. 43, No.7, pp.477-494, 2008.10
- [10] 樋本圭佑・西田幸夫・諸隈貴寛・芝真理子・秋元康男・北後明彦・関澤愛・田中哮義:地域防災力評価のための消防用可搬ポンプを利用した消火活動実験、日本建築学会計画系論文集、No.634、2008.12
- [11] 横山昇平・樋本圭佑・田中哮義:GIS を用いた市街地火災延焼リスク評価システムの入出力データ管理手法に関する検討、歴史都市防災論文集、Vol.3、pp.211-216、2009.6
- [12] Nakao, M. and Tanaka, T.: Study on the Estimation of the hazard to Evacuation Due to Wind-blown Fire Flow Induced by Urban Fire, Fire Safety Science, Proc. of the 7th Int'l Symposium, pp679-690, 2002
- [13] Nishino, T., Tsuburaya, S., Himoto, K., Tanaka, T.: A Study on the Estimation of Evacuation Behavior of Tokyo Residents in the Kanto Earthquake Fire, Fire Safety Science, Proc. of 9th Int'l Symposium, 2008.9
- [14] 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定に関する研究 -ポテンシャル法に基づく地震火災時の避難シミュレーションモデルの開発-、日本建築学会環境系論文集、NO.636、P.105、2009.2
- [15] 西野智研・円谷信一・樋本圭佑・田中哮義:準定常的な計算による都市火災延焼性状の簡易予測モデルの開発、歴史都市防災論文集、Vol.3、pp.5-12、2009.6
- [16] 西野智研・円谷信一・樋本圭佑・田中哮義:準定常的な計算法を用いた都市火災延焼性状の簡易予測モデルの開発、日本建築学会環境系論文集 No.647 号、pp.9-18、2010.1