

# 物理的市街地火災延焼モデルを用いた京都東山地区の地震火災延焼リスク評価

## Assessment of Post-Earthquake Fire Risk of Kyoto Higashiyama Area Using Physics-Based Urban Fire Spread Model

田中 哮義・樋本 圭佑

Takeyoshi TANAKA, Keisuke HIMOTO

### 1. はじめに

我国の都市は古来から、市街地大火を頻繁に蒙って来た。木造家屋の密集市街地で一旦火災が起これば、隣接の家屋に次々と延焼拡大する危険は高い。特に地震火災は、同時多発することと、消火インフラの損傷を伴い易い事から、消火能力が火災拡大に対応できない自体に陥る危険が高い。この卑近な例は1995年の阪神大震災における火災である[1]。

市街地大火に対して有効な対策を講ずるためには、対象市街地の延焼拡大の性状およびリスクを評価しなければならない。既往にも、経験的あるいはGISベースの延焼モデルを用いている[2-7]が、本研究では、物理的延焼予測モデルを用いる。対象市街地とする京都市東山地区は言うまでも無く我が国の代表的な伝建地区であり、木造建物の密集地区でもある。

### 2. 延焼モデルの概要

図1に本研究で用いた延焼モデルの概念を示している。本モデルでは市街地火災を、他の燃焼建物からの熱的影響下で燃焼する単体建物火災の集合として捉える。本モデルは2つの大きなサブモデルからなる。すなわち、単体建物内の火災性状を記述するモデルおよび建物間の延焼を記述するモデルである[8]。

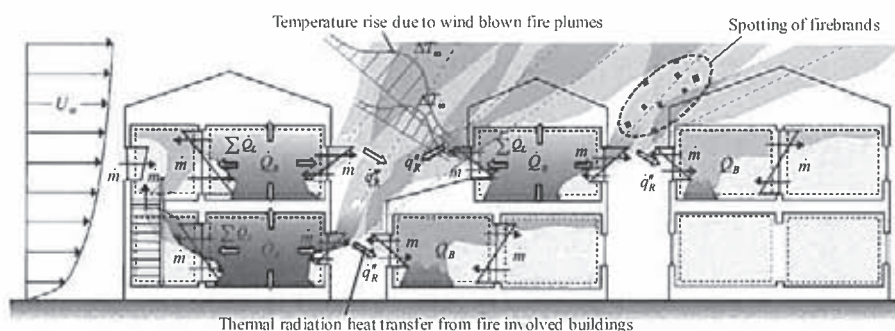


図1 市街地火災延焼モデルの概念

#### 2.1 建物間火災拡大

火災建物からの熱的影響については次のような延焼拡大要因を考えた：(A)火災建物からの輻射熱伝達、(B)外気風に吹き倒される火災プルームからの対流熱伝達、および(C)火災建物の風下における飛び火出火。建物への延焼は、これらの現象下で次のいずれかの条件に合致

したとき生ずるものとする：(α)開口部を通す熱流束が閾値を越す、(β)木質外壁の表面温度が閾値を越す、(γ)発熱が大きい火の粉が可燃物上に落下する。

### 3. 京都東山地区の延焼リスクの評価

上記のモデルを京都東山地区に適用し延焼拡大リスクを評価する。この地区の航空写真を図 2 に示す。この地区では日本の伝統的家屋が木造のファサードを連ねており、伝統的町並みにとっての重要な要素であるが、隣接家屋の火災からの延焼に対する脆弱さは否めない。このような特徴ある地区の防火性能の改善は特別の重要性を有する。

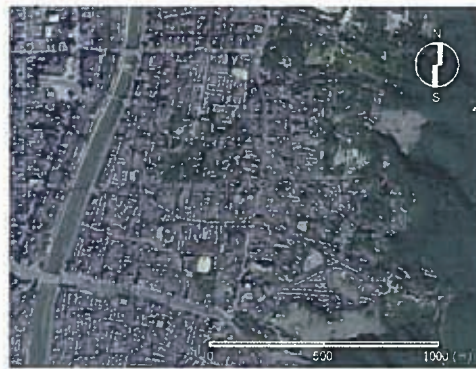


図 2 対象地区の航空写真 [10]

火災延焼リスクは、モンテカルロシミュレーションで多数の条件について延焼予測を行って損失家屋数の期待値を求め評価した。延焼性状に影響するパラメタは各試行計算毎に確率的に変化させた。各イベント(条件)における火災損失(焼損家屋数)をとすれば、当該地区のグロスの火災延焼リスク  $R_G$  は

$$R_G = \sum_{i=1}^N (p_i L_i) \quad (1)$$

ここに  $p$  はある事象が起きる確率、 $i$  は任意の事象、 $N$  は事象の総数。グロスの火災延焼リスクは対象市街地全体のマクロな被害評価に適切であり、一般に 1000 棟以上建物がある地域に適用可能である。他の指標は特定の地区の火災延焼リスクを評価する  $R_R$  で、下式で定義される。

$$R_R = \frac{\sum_{k=1}^{n_R} p_{B,k}}{n_R} = \bar{p}_{B,k} \quad (2)$$

ここに  $p_S$  は期待される全ての火災シナリオの中で、ある1つの建物が被災する確率、 $n_R$  は当該地区内の建物総数。局所火災延焼リスク  $R_R$  は一グループの建物の平均被災確率と似通った概念であり、一般に 10-100 棟程度の建物に適用するのが適切である。

#### 3.1 計算条件

計算条件を表 1 に示す。モンテカルロシミュレーションはケース(A)および(B)の 2 つの組について実施した。出火点と計算回数以外の条件は両者で同じである。ケース(A)は、今回の延焼モデルの特性と対象地区での火災延焼の一般的性状を示すための計算で、出火点は固定されて

いる。これに対し(B)は、より真実らしいリスクを評価するためのもので、出火点は各試行毎にランダムに変化する。

火災損失  $L$  を規定する確率変数としては出火条件(出火場所および時刻)および気象条件(気温、風向、風速)を用いた。出火時刻は建物構造、用途に関わらずランダムに与えられる。延焼性状の予測は出火後 12 時間までとし、この間の気象条件の時間変化も計算に考慮した。計算対象地区は既に図 2 で示した東西 2.0km、南北 1.5km の矩形領域である。延焼予測に必要なデータのうち、建物形状、構造および地形については GIS データ、都市計画図および航空写真をもとに作成した。当該地区には合計 7,909 棟の建物があり、うち 6,505 棟(82.2%)が木造である。

気温および風向・風速の入力データは AMeDAS の 1981~1995 から取得した。京都では夏季(6~8 月)と冬季(12~2 月)では 20K の温度差があるが、着火温度は遥かに高い値なので、延焼性状への影響は殆ど無視できると思われる。一方、風速は延焼速度に大きな影響を持つが、京都は内陸盆地に位置するので、風条件の季節変化は比較的小さい。

表 1 モンテカルロシミュレーションの条件

	Case (A)	Case (B)
Number of buildings (%, wooden buildings)	7,909 (82.2 %)	
Fire origin	fixed	random
Outbreak time	random	
Time duration (hrs)	12	
Weather data	AMeDAS standard weather data	
Number of trials	100	500

### 3.2 ケース(A):固定出火点の場合の結果

ケース(A)の場合の延焼拡大シミュレーションの一例を図3に示している。出火点は計算領域中に矢印で示している。赤および黒の多角形は、それぞれ燃焼中および燃え尽きの建物を表す。延焼は初期の段階では出火点の周りに同心円に広がるが、出火後 5 時間以内には東山通りを跳び越して延焼している。風向は計算時間を通じて、一般には西から東に向かう方向である。このため、飛び火が延焼の東山通りの突破に重要な関係があったと思われる。出火後 10 時間までには、延焼の東側の先端は東山の裾の市街地境界まで、また西側の先端は殆ど鴨川迄達する。東側は風下に当たるため熱気流に曝され、このため延焼速度は最も大きい。

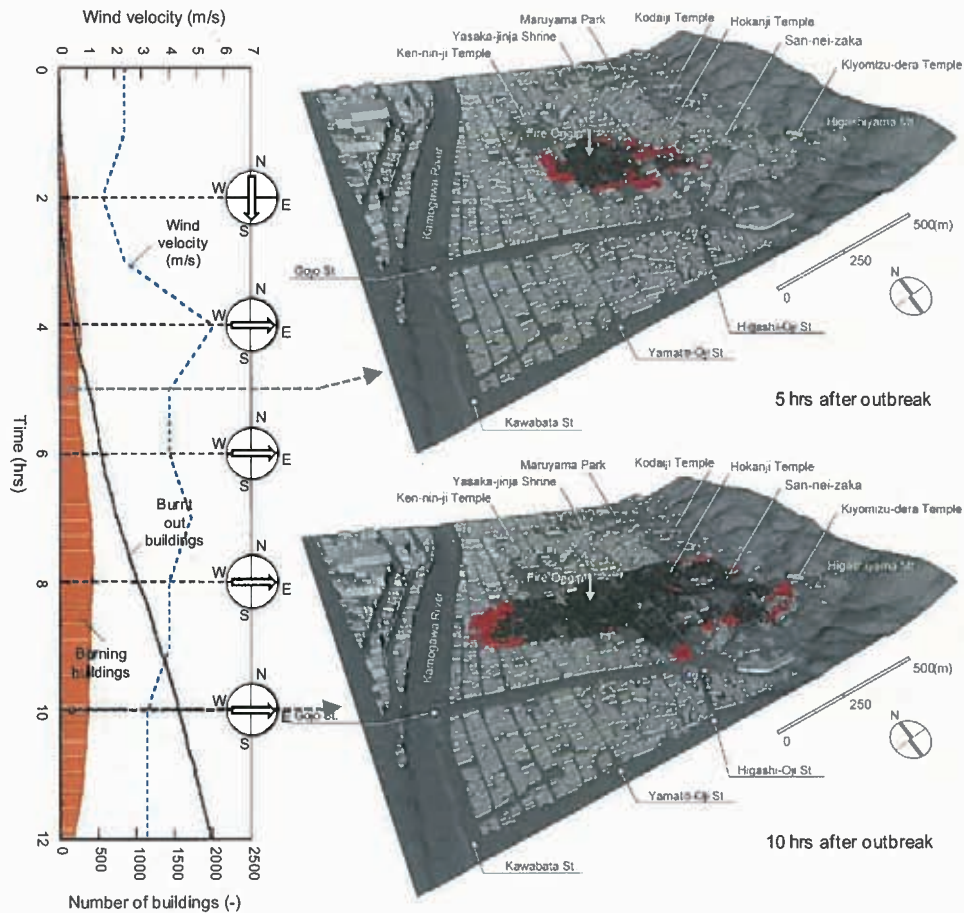


図3 ケース(A)における延焼シミュレーションの例。

計算時間中の風速の平均は3.45m/sで京都の通常的气象条件に比較するとかなり大きい。しかし、最後の段階では南北の延焼は広幅員道路でとまり、最終的な焼損建物数は1,969棟であった。因みに、1976年の酒田市大火では11時間の延焼で焼損建物数が1,744棟であった[11]。延焼に関わるパラメタは両者で異なるが、火災規模は類似した結果となった。

風速は延焼の支配的要因の1つである。風速が大きいと火災プルームが吹き倒され、熱と火の粉を遠くまで輸送するためである。平均風速と最終の焼損建物数の関係を図4に示している。焼損建物数の最大値は風速が最大の3.63m/sのときの2,159棟、また最小値は1,049であった。風が穏やかな場合でも大きな焼損が予測される理由は、火災が放任火災であること、および出火点が延焼危険の高い地区内にあるためと考えられる。しかし、風速が2m/sを幾分超える場合でも最小焼損数が得られる場合があるが、概して2m/sを越すと外気風が延焼速度に影響を及ぼすようになると推定される。焼損の最小および最大の場合についての時間履歴も示している。最大の場合、焼失建物数が計算の最後の段階で少し減少傾向を見せるのは、この時期延焼の先端が大きな空地や広幅員道路に達し始めているためである。最終的焼失棟数の最大と最小には1,110棟もの差異があるが、平均値はむしろ最小値に近接している。

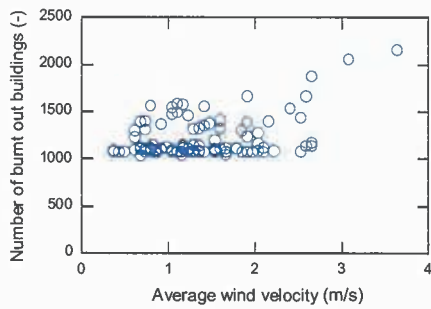


図4 外気風速の影響

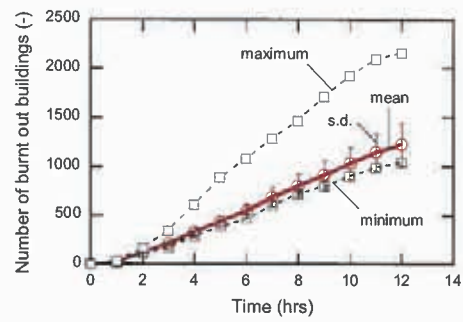


図5 焼失建物数の時間履歴

### 3.3 ケース(B):ランダム出火点の場合の結果

地区全体の焼失建物数の確率分布を図6に示している。棒グラフのデータ間隔は20棟である。焼失棟数の発生確率は多くのピークが局在しているが、明確な偏在は見られなかった。

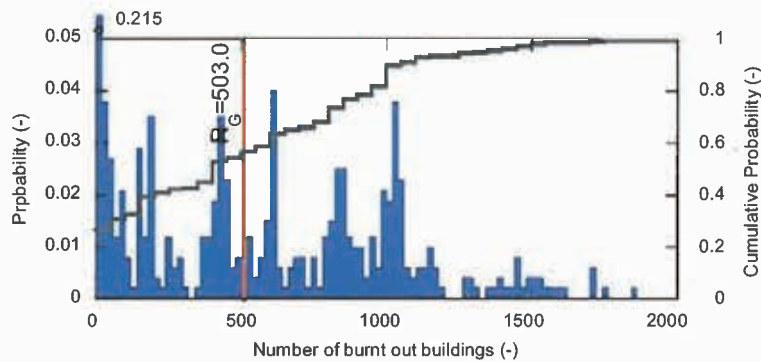


図5 東山地区のグロス延焼リスクの頻度分布

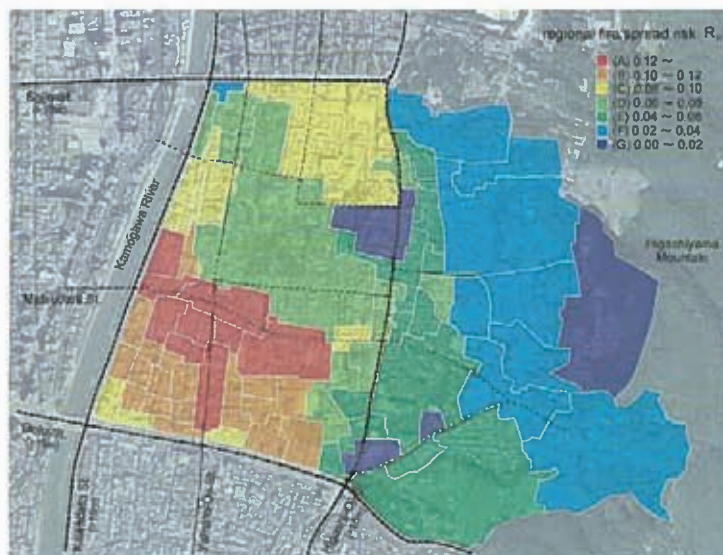


図6 東山地区の局所延焼リスクの評価結果。

今回のシミュレーションの対象地区は広範なので、この地区を、大きな空地や広幅員道路によって、幾つかのブロックに区画することも出来る。すると、焼失棟数は、強風下のため区画を飛び越し

て延焼する場合を例外として、出火点の位置に依存することが明らかになる。焼失棟数 20 以下の頻度は、火災が孤立した地点あるいは計算領域の端で出火した場合に対応する。式(1)の定義に従えば、東山地区 503.0 と言うことになる。

対象地区の町目ごとの局所延焼リスク RR を図 6 に色分けで示した。局所延焼リスクは地区の南西部分で最も高く、東側部分で相対的に低い。一般に、延焼リスクは、建蔽率が高く、木造家屋率が高いほど高くなる。他方、広幅員道路(>15m)に沿った地区の局所延焼リスクは、他の地区からの延焼が稀なため、比較的低い。

#### 4. まとめ

物理的市街地火災延焼モデルを用いて、京都東山地区の延焼拡大性状および延焼リスクを評価した。出火点を固定したシミュレーション(ケース(A))では、気象条件の影響を分析した結果、風速 2m/s 以下では、外気風は必ずしも延焼にとって大きく影響しない。一方、出火点をランダムに変化させたシミュレーション(ケース(B))では、モンテカルロ手法を用いて東山地区のグロスおよび局所延焼リスクを評価した。この結果、強風下の条件を例外とすれば、延焼による焼損は多少とも出火位置に依存することが知られた。

#### 参考文献

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Disaster Resilient City Planning for Urban Regeneration, 2003 (in Japanese)
- [2] Ministry of Construction, Development of Countermeasures against Urban Fire, Project Report of The Integrated Technology Development, 1982 (in Japanese)
- [3] Itoigawa, E., Iwami, T., Kaji, H., Kawanaka, T., Kumagai, Y., Tsukagoshi, and Y., Masuyama, T., “Study on Real Time System for Information Processing for Post-earthquake Fire”, Report of The Building Research Institute, No.120, 1989 (in Japanese)
- [4] Thomas, G.C., Cousins, W.J., Lloyd, D.A., Heron, D.W., and Mazzoni, S., “Post-earthquake Fire Spread between Buildings Estimating and Costing Extent in Wellington”, Fire Safety Science - Proceedings 7th International Symposium, International Association for Fire Safety Science, 2002, pp.691-702
- [5] Himoto, K., and Tanaka, T., “An Evaluation of Fire Resistant Performance of Takayama Sanmachi District based upon Fire Spread Simulation”, Proceedings of Annual Meeting of Architectural Institute of Japan, Architectural Institute of Japan, 2004, pp.337-336 (in Japanese)
- [6] Kato, T., Hong, C., Yusfu, Y., Yamaguchi, M., and Natori, A., (2006) A Method for The Integrated Earthquake Fire Risk Evaluation Based on The Single Building Fire Probability Applying to Any Different Map-scale, Journal of Social Safety Science, 8: 279-288 (in Japanese)
- [7] Japan Association for Fire Science and Technology, Report of The Fire Damage caused by The 1995 Kobe Earthquake, 1996 (in Japanese)
- [8] Himoto, K., and Tanaka T., (2008) Development and Validation of A Physics-based Urban Fire Spread Model, Fire Safety Journal (in press)
- [9] Himoto K., and Tanaka T., “Transport of Disk-shaped Firebrands in A Turbulent Boundary Layer”, Fire Safety Science - Proceedings of the 8th International Symposium, International Association for Fire Safety Science, 2005, pp. 433-444
- [10] Live search maps (<http://maps.live.com/>)
- [11] National Research Institute of Fire and Disaster, “Fire Spread Behaviors of The Sakata Fire”, Technical Report of National Research Institute of Fire and Disaster, No.11, 1977 (in Japanese)