

## 歴史都市の地震火災対策と延焼シミュレーション

田中哮義・樋本圭佑\*

\*東京大学大学院工学研究科都市工学専攻

### 要 旨

本稿は‘浜田式’に代表される統計的基盤の市街地火災延焼予測モデルに対し、全く新たな観点から研究開発を進めてきた火災物理の知見に基づいた延焼モデルを、GISからの建物データとリンクして、文化財建築を多く有する京都市の東山区に適用して市街地火災の延焼予測のケーススタディーを行った結果を示すものである

**キーワード:** 地震火災, 市街地火災, 物理的延焼モデル, 歴史都市, 京都市

### 1. はじめに

我国の都市は古来夥しい都市大火を蒙ってきており都市不燃化は悲願であった。このため、都市大火の性状に関する研究も盛んで、世界に類を見ない市街地火災延焼モデルなども開発されて、地震火災による危険度評価に使用されてきた<sup>1), 2), 3), 4), 5)</sup>。しかし、それらのモデルは明治末から昭和初期までの大火の延焼動態図を基にして作成された統計的モデルであり、爾来目覚しく変貌した我国の現在の市街地に対する適用性には疑問が持たれるようになっている。

また、かつて木造建物の都市であった我国の市街地が、次第に RC や鉄骨構造の建築物による不燃化都市に置き換わってくるに従い、伝統的木造市街地の良さが再評価されるようにもなって来ており、このため地震火災から都市を保護する対策についても、よりきめ細かなものが求められ、従来のように不燃化一本やりでは済まなくなっている。特に、京都市のように歴史的遺産を多く有する都市については、周辺の市街地も歴史的景観を損なわないような地震火災対策が求められる。

京都市は我国の都市の中で特別の意味を持っていることは言うまでもない。京都市は言わば都市全体が日本の歴史の中で 1000 年以上の期間にわたる歴史博物館のようなものであり、市内各所に文化財建

築物をはじめとして、多くの歴史・文化遺産を有している。しかも、単に過去の歴史の痕跡としての遺跡としてではなく、現在もその文化的役割を継続している、‘生きた’文化財が多いことも、他国の文化遺産に比較した時の顕著な特徴である。

形態的側面から見ると、文化財建築物の殆どは木造建築であり、木造建築の美的・技術的発展のレベルは他の国の追随を許さない高みを極めているが、惜しむらくは火災に対して極めて脆弱である。また、多くは木造家屋主体の市街地と近接して存在する。このため、大地震火災時には近隣市街地火災からの延焼で文化財建築物が焼損する可能性がある。従って、大地震時の市街地火災から文化財建築物を保護するためには、近隣市街地の地震火災に対する抵抗力の向上を図らなければならない。

しかし、文化財建築物の近隣市街地は文化財建築物と一体となって、良好な景観を形成することが重要である。ただやみくもに近隣建物の不燃化を進めては折角の歴史的雰囲気を、火災によるまでもなく、破壊してしまうことになり、文化財建築物保存の価値を低下させる。従って、近隣市街地の地震火災に対する抵抗力の向上は、歴史的・文化的景観と調和するような方法によって実現しなければならない。このためには、そのような対策を講じたときの地震火災被害のリスクを適切に評価できる必要があり、そのための基本ツールとして地震火災延焼予測モデ

ルが必要である。このための予測モデルには次の条件が必要となる。

- (1) きめ細かな対策が地震火災被害低減に及ぼす効果を評価できる機能を持つこと。
- (2) 市街地には膨大な数の建築物を対象とするため、計算速度が高速であること。
- (3) 膨大な数の建築物に関する入・出力データを効率的に処理するため、GISなどの電子データを利用できるシステムを有すること。

## 2. 物理的知見に基づく市街地火災延焼予測モデル

従来の市街地火災延焼予測には、所謂「浜田式」と言われる過去の市街地火災の調査データに基づく統計的・巨視的モデルが用いられていた<sup>1)</sup>。しかし、このモデルでは、上記1.の「(1)きめ細かな対策が地震火災被害低減に及ぼす効果を評価できる機能を持つこと」と言う条件は満たされない。そこで、個々の建物の火災性状が把握できる物理的基盤に立つ市街地火災延焼モデルの開発が必要となる。

本研究では、市街地火災を、従来の浜田式のように巨視的に見るのではなく、謂わば市街地火災の本質に立ち帰って、市街地を構成する個々の建物が他の火災建物から熱的な影響の下で燃焼する火災の集合と考える。すなわち、本延焼モデルでは、他の建物の火災からの熱的影響の下で任意の建物が燃焼する時の火災性状を予測計算し、また火災建物から他の建物への熱的影響を評価するという予測手法を用いる。

### 2.1 建物の火災性状予測

市街地の構成要素である、任意の建物における火災性状は、その任意の室(i)とする)を一様な検査体積として、関連する物理量(質量、熱量、化学種の、および気体の状態)を考えることにより得られる<sup>6), 8)</sup>、

9)。

(a) 質量

$$d(\rho_i V_i) / dt = \sum_j (m_{ji} - m_{ij}) + m_{B,i}$$

(b) 熱量

$$d(c_p \rho_i T_i V_i) / dt = Q_{C,i} - \sum_j (Q_{D,ij} + Q_{W,ij}) + c_p \sum_j (m_{ji} T_j - m_{ij} T_i) + (c_p T_p - L_p) m_{B,i}$$

(c) 化学種(酸素、燃料)

$$d(\rho_i Y_{X,i} V_i) / dt = \sum_j (Y_{X,j} m_{ji} - Y_{X,i} m_{ij}) + \Gamma_{X,i}$$

(d) 気体の状態

$$\rho_i T_i = 353$$

これらから、当該建物内の任意の室 i における温度  $T_i$ 、化学種濃度  $Y_{X,i}$  (X=酸素、可燃ガス) を与える微分方程式、および換気を制御する条件式からなる連立方程式系が導かれるので、それらを数値的に解く。なお、上式で i, j は建物内空間(ゾーン)の識別番号、 $\rho$  および  $V$  はそれぞれゾーンの気体密度および体積、 $t$  は時間、 $c_p$  は空気の定圧比熱、 $m_{ij}$  および  $m_{ji}$  はそれぞれ空間 i から j および j から i への開口流量、 $m_B$  および  $\Gamma_X$  はそれぞれ室内可燃物の燃焼速度(重量減少速度)および化学種 X の発生速度、 $Q_c$ 、 $Q_D$  および  $Q_W$  はそれぞれ燃焼の発熱速度、開口からの失熱および周壁への失熱速度、 $T_p$  および  $L_p$  は可燃物の熱分解温度および熱分解潜熱である。

上式に含まれる熱伝達、開口流量、燃焼速度などについては更に定式化がなされることになるが、このモデルによる個別建物の火災性状の予測精度は、建設省建築研究所による既往の実大火災実験との比較で既に検証されている<sup>9), 10)</sup>。

### 2.2 建物間の延焼予測

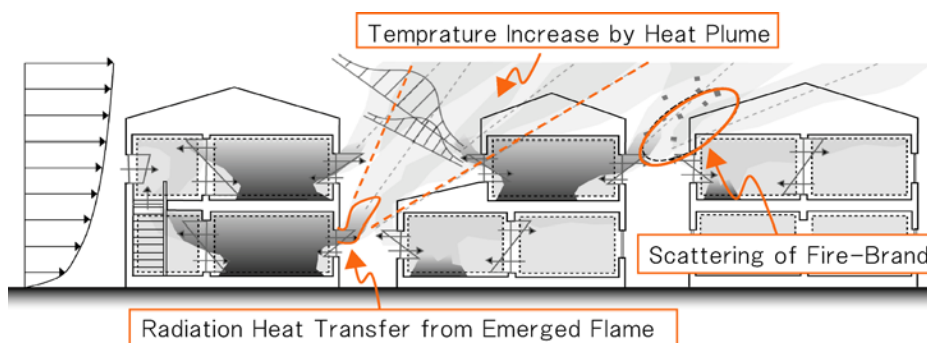


Fig. 1 Concept of Physically-based Model for Urban Fire Spread<sup>7), 8), 12)</sup>

家屋から家屋への延焼の主なメカニズムは、火災家屋から放出される熱輻射や熱気流による他の家屋に熱の伝達、および火の粉の飛散による飛び火である。市街地火災の延焼は、このような熱的影響の下での多数の家屋の燃焼の集合と言える。基本的に他の家屋からの影響は無いものとする単体建築物の火災と、市街地火災との大きな差異はこの点にある。外部からの加熱が存在することにより、家屋の燃焼はより激しくなるのである。図1には、本モデルの概念を示している。

### 2.3 延焼モデルの予測計算プログラム

上記の市街地火災延焼モデルは、図2に構成が示されるような予測計算プログラムとして構築されており、各時間毎に個々の建物の性状を予測し、次いで建物間の熱伝達等の計算を行うという手順を計算終了まで繰り返す。なお建物の性状は火災家屋の火災性状のみならず、火災家屋から熱的影響を受ける周辺家屋の燃焼を開始する以前の温度上昇性状なども予測される。

このプログラムによる市街地火災延焼予測の妥当性は、有風化の通常時市街地火災として最も近年のものである酒田市大火（1976年）との比較により検証されている。この比較によれば、モデルによる予測の方が実際より少し延焼速度と範囲を過大に評価する結果となっている。これは実際の酒田市大火では、消防や自衛隊による大規模な消火・延焼防止活動が大規模に行われ、また幾分降雨もあったが、モデルにはこの影響が考慮されていないことなども原因と考えられる。これら詳細の知られないファクターの影響を勘案すれば、本モデルは概ね妥当な予測レベルに達していると評価される<sup>13)</sup>。

### 3. 延焼予測におけるGISデータの利用

上記のような物理的基盤に立脚した街地火災延焼

予測モデルは、景観を保ちながら市街地全体としての地震火災に対する抵抗力を高める上で様々な工夫からもたらされる、きめ細かな条件が延焼に及ぼす影響が評価できることが、従来の統計的モデルと比較したときの利点であるが、反面で予測に必要とされる情報が多くなることが欠点である。この物理的延焼モデルを実際の市街地に適用して、地震火災時などにおける危険性を評価する場合には、膨大な数の建物の情報が必要となるので、可能な限りGISなどのデジタルデータを利用して効率的にモデルへの入力データを作成しなければならない。今回は、(株)アジア航測のGeoMedia Professionalから建物のポリゴンデータ、高さデータ、構造データおよび地盤高さデータを利用して、京都市東山区の市街地建物条件の入力データを作成した。図3はその結果を

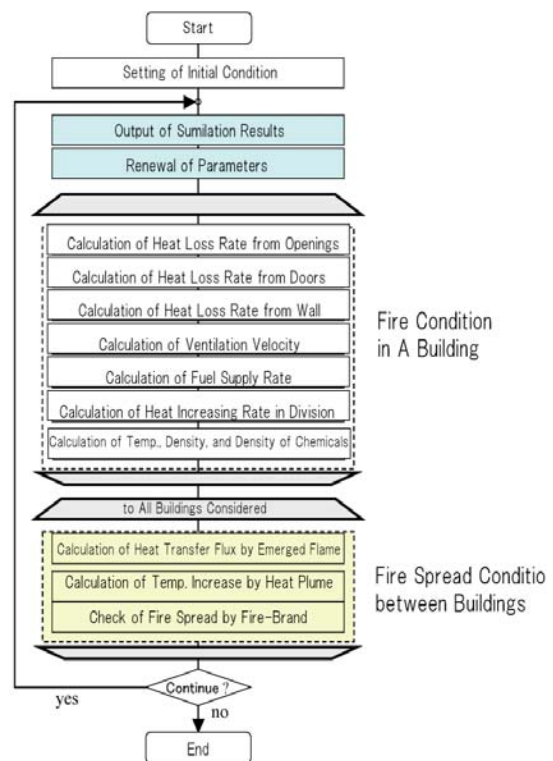


Fig. 2 Flowchart of Simulation Program

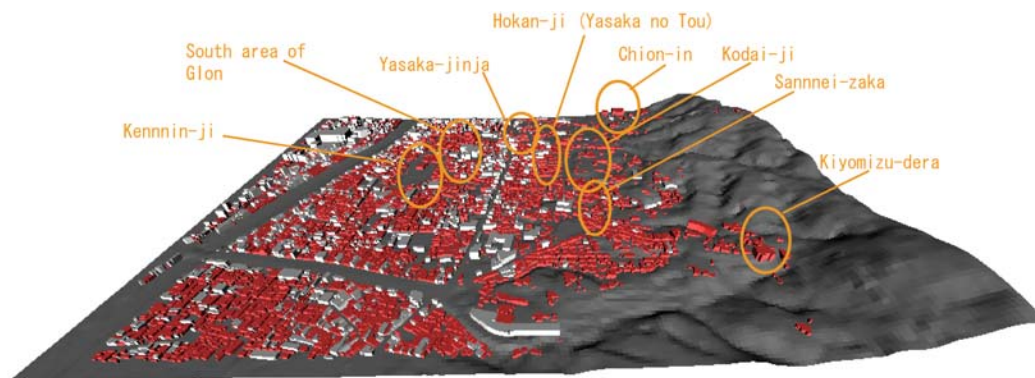


Fig. 3 Input Data of Building Condition with GIS Data

3次元表示したものである。この地区は、周知のように、八坂神社、建仁寺、清水寺、高台寺などの重要文化財や産寧坂地区などの伝統的建築物地域が集積する、京都でも代表的な歴史・文化ゾーンである。なお、白色で表示される建物はRC、鉄骨構造建築物などの堅牢建物、赤色は基本的に木造などの非堅牢建物である。しかし、延焼モデルには、市街地火災延焼に大きな影響を持つ建物開口データなども入力する必要であるが、これは、GISからは得られないので、調査に基づいた推定方法など別の適切な方法で取得しなければならない。

#### 4. 東山地区における延焼予測の試算

図4に東山地区における市街地火災延焼予測について本予測モデルで試算した結果をグラフィック表示した例を示す。この例での出火点は任意に設定した1点のみ、外気風条件は西の風（鴨川→東山）に5m/s、予測は出火から10時間までとしている。なお、消防等の効果は期待されていない。この試算例では、火災は出火点から四方に延焼し建仁寺など文化財を焼損するが、風下方向に最も広く速く広がり、東山通りを越えて産寧坂・清水門前町の方まで広がり清水寺にも危険が迫る予測となっている。

地震火災時における東山地区文化財建築物の被災リスクや保護対策の効果の評価には、今後、京都市地域防災計画での地震時出火想定、気象条件なども総合的に考慮する必要があるが、今回の試算はGISと延焼予測モデルとの統合により延焼予測を行うシステムを構築することに主眼を置いて、最も簡単な条件で行ったものである。

#### 5. まとめ

歴史・文化都市である京都市における文化財建築物の地震火災からの保護対策を総合的に検討する上で必要とされる物理的延焼モデルの開発とそのGISデータとの統合について進展が見られた。

今後の課題としては、GISデータから取得できない建物開口条件の推定方法が必要であり、これについては現在効率的な調査手法の開発を進めている。また、計算対象を区レベルから市レベルに拡大するためには、東山地区以外の対象地域の建物データに加えて、膨大なデータと計算を処理するための計算機容量の拡大と計算時間の短縮の工夫とが必要となる。

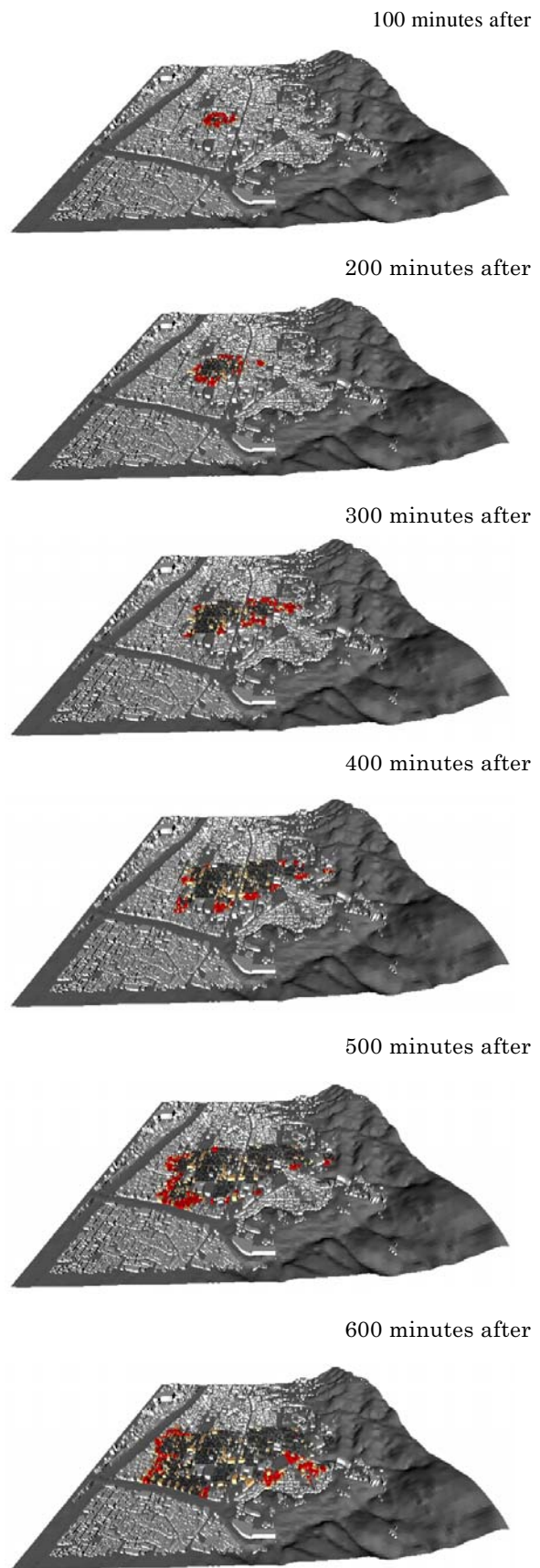


Fig. 4 Fire Spread Simulation in Higashiyama



## 参考文献

- 浜田稔 (1951) : 火災の延焼速度について, 災害の研究 I.
- 堀内三郎 (1972) : 建築防火, 朝倉書店.
- 建設省総合技術開発プロジェクト (1982): 都市防火対策手法の開発 報告書, 建設省.
- 東京消防庁(1985): 地震時における市街地大火の延焼性状の解明と対策.
- 東京消防庁 (1997): 直下の地震を踏まえた新たな出火要因及び延焼性状解明と対策.
- 田中喙義(2002): 改訂版 建築火災安全工学入門, 日本建築センター.
- Himoto, K. and Tanaka, T. (2002): A Physically-based Model for urban Fire Spread, Fire safety Sci. Proc. of 7th Int. Symp. pp.129-140.
- Himoto, K. and Tanaka, T.(2003): Physically-based Modeling of Fire Spread in Urban Areas, Proc. 2nd Int. Symp. on New Tech. for Urban Safety on Mega Cities in Asia, pp.103-110.
- 中村賢一 (1983): 鉄骨系プレファブ住宅の火災実験, 建築研究資料, No. 40.
- 樋本圭佑・田中喙義 (2003) : 区画間の延焼を考慮した建物燃焼性状予測モデル, 日本建築学学会環境系論文集, No.573, pp.1-8.
- Himoto, K. and Tanaka, T. (2004): A Burning Model for Charring Materials and Its Application to the Compartment Fire Development, Int. J. Fire Sci. Tech., Vol.23, No.3, pp.170-190.
- Himoto, K. and Tanaka, T. (2005): Transport of Disk-shaped Firebrands in a Turbulent Boundary Layer, Fire Safety Science, Proc. of the 8th Int'l Symposium, pp.433-444.
- Himoto, K. and Tanaka, T. (2005): Fire Spread Simulation in 1976 Sakata Fire, Fire Safety Science, Proc. of the 8th Int'l Symposium, p.1617 (Poster).
- 樋本圭佑・田中喙義 (2005) : 延焼シミュレーションに基づく高山市三町地区の火災リスク評価, 研究発表概要集, 日本火災学会

## Physics-based Model of Urban Fire Spread and Mitigation of Post-earthquake Fire Risk in Historic Cities

TANAKA Takeyoshi and HIMOTO Keisuke\*

\* Department of Urban Engineering, School of Engineering, University of Tokyo

### Synopsis

This manuscript presents the results of sample simulation for predicting an urban fire spread in Higashiyama ward of Kyoto, which is one of the areas in Kyoto where a number of cultural heritage buildings exist. The simulations were conducted using the new urban fire spread model, which has been developed based on building fire physics unlike the conventional models originated from 'Hamada formula', which are statistics based models. The digital data from a GIS was incorporated in the simulation system so as to process a large number of input data on buildings in the area, which are necessary for running the simulations and the calculated results are shown in a graphic form.

**Keywords:** post-earthquake fire, urban fire, physics-base model, historic city, Kyoto