

# 阪神淡路震災における神戸市長田区火災 の延焼シミュレーション

## Simulation of the Fire Spread in Nagata District, Kobe City, during the 1995 Hanshin-Awaji Earthquake

豆塚 一幸\*      正木 和明\*\*  
Kazuyuki Mامتuka and Kazuaki Masaki

Abstract: The program simulating a fire spread during an Earthquake was developed. A potential of burning of different structures was introduced, and a process of energy-exchange during a fire was calculated. By using this program, the fire spread in Mikura Sugawara-cho, Nagata district, Kobe city, during the 1995 Hanshin-Awaji Earthquake was simulated. A simulated velocity of fire spread was a little bit faster than the one during the earthquake. It is considered that the collapsed houses reduce the velocity of fire spread.

### 1. 序

1995年1月17日午前5時46分、淡路島北端部を震源とするマグニチュード7.2の地震が発生した。気象庁は、この地震を兵庫県南部地震と命名した。大都市直下であったため家屋の全半壊は約15万棟で、死者も5,501人だった。175件の火災が発生し、70haにおよぶ焼失面積と7,386棟を越す焼失家屋がもたらされ、529人を越す焼死者が確認されている。

地震時における火災の例として、1891年濃尾地震における岐阜市、大垣市のケース、1923年関東地震における東京都、横浜市のケース、1943年鳥取地震における鳥取市のケース、1948年福井地震における福井市のケース、そして1995年阪神・淡路地震のケースなどがある。これら地震にみられるように地震時における火災は二次災害の中で最も危険なものであり、地震火災研究の重要性が叫ばれている。

地震時火災は、平常時火災にはあまり見られない出火があり、同時多発的に火災が発生する。また、水道管の破壊に伴う消火栓の使用不能・防火用水池の漏水による水不足、道路の地割れ・倒壊家屋などによる交通障害などのため消火活動が極端に低下する。このため、延焼が拡大して大火災に至る可能性がある。

地震時における火災被害をシミュレーションによって予測しておくことは重要である。大火災における被害で予測する場合、扱う家屋等のデータは膨大となる。このために従来、街を均質モデルで置き換える方法がとられていた。しかし、コンピューターの高速化によってこの問題も解決されつつある。

本研究では、従来の均質モデルから脱却し、個々の家の形状、構造を考慮し、その燃焼時における発熱関数を与え、家から家への延焼をシミュレートする新たな手法を開発した。この手法を用いて、1995年阪神淡路震災における神戸市長田区御蔵・菅原地区の火災をシミュレートした。実火災と比較する事によって、本手法の有効性を確かめた。

\*愛知工業大学 土木工学科 研究生 (豊田市)

\*\*愛知工業大学 土木工学科 (豊田市)

### 2. 解析対象地区

本研究では神戸市長田区御蔵・菅原地区を対象とした。

2・1 御蔵地区

この地域は、古い木造の小規模の建物が立ち並び、鉄工所が多く、準工業地域に指定されている。焼損街区は「御蔵通5・6丁目」及び「北町3丁目」で、この街区の大半を焼き尽くした。



写真2-1 御蔵地区

地震直後より2地点で出火した。延焼は図の矢印方向に拡大した。図中A, B地点において消防車による消火活動が試みられたが鎮火しなかった。午前9時にP地点、午後12時にQ地点に拡大した。☆印において飛び火が確認されている。この延焼火災は19日午前中によりやく鎮火した。

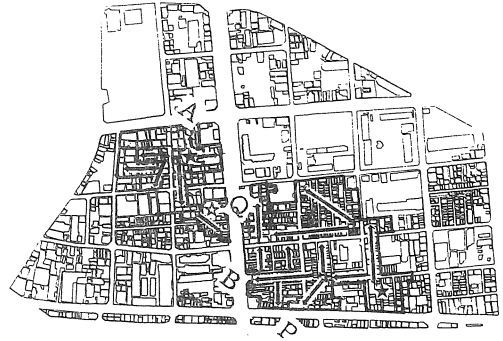


図2-1 御蔵・菅原地区の延焼動態図

2・2 菅原地区

この地域は古い木造家屋が密集し、菅原商店街、菅原市場、西菅原市場がある。菅原3丁目の一部、4丁目全域及び御蔵通4丁目の一部が近隣商業地域、他の地域は準工業地域となっている。焼損街区は「菅原通2・3・4丁目」及び「御蔵通2・3・4丁目」である。



写真2-2 菅原地区

3. 研究方法

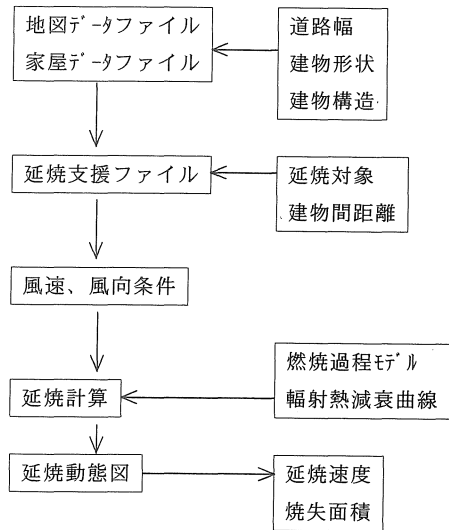


図3-1 フローチャート

2・3 延焼実態

御蔵・菅原地区における延焼動態は建築研究所により詳細に調べられている。<sup>2)</sup>それを図2-1に示す。

3・2 使用地図

地図は国土基本図(1/2,500)の神戸市長田区の基本図を用いた。図3-2に示す実線で囲まれた地域を対象とした。

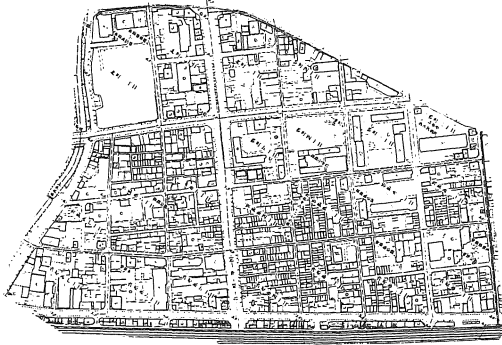


図 3-2 国土基本図 (長田区, 1/2,500)

### 3・3 地図データファイル

火災延焼シミュレーションの計算には関与しないが、シミュレーション結果にこれを重ねることによって延焼動態を見やすくするためのファイルである。



図 3-3 地図データファイル出力例

### 3・4 家屋データファイル

家屋の中心位置、形状、階数、構造特性（木造、防火木造、非木造）がファイル化されており、対象家屋は1530棟である。



図 3-4 家屋データファイル出力例

### 3・5 延焼計算支援データファイル

出火家屋Aとそのまわり家屋Bの中心距離 $a$ 、および壁面距離 $d$ を半径40m以内の全ての家屋について計算する。対象地域内全ての家屋(1530棟)についてのファイルである。

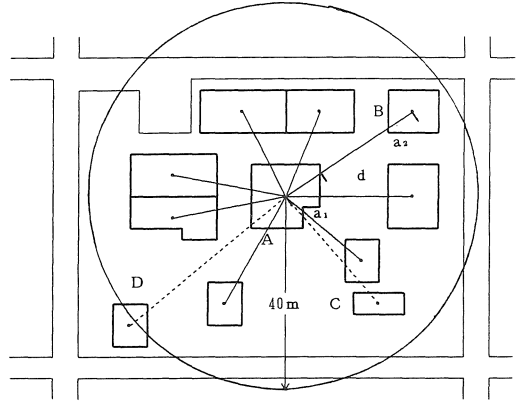


図 3-5 家屋間の中心距離および壁面間距離

## 4. 延焼モデル

### 4.1 概要

従来のシミュレーションモデルは、街区をメッシュ状に区切って考えられているが、それは対象地域をマクロ的にとられているがあくまでも街を仮想のかたちにしてシミュレーションをおこなっている。また、燃え広がる方向は東西南北の方向だけで考えられていた。しかし、本研究の場合は、家一軒ずつのデータが違うために伝達させようとする力や方向が異なるものなので新たな考えが必要となる。

### 4・2 家屋の燃焼過程モデル

1棟の燃焼過程を図4-1に示すようにモデル化する。横軸は出火からの時間(分)、縦軸は燃焼する家屋の壁の表面温度( $^{\circ}\text{C}$ )を示している。 $t = t_0$ で出火した後、その家屋の壁の表面温度が時間経過とともに上昇する。ある1棟で考えた場合、ある1点から発火し燃え広がると考えるのではなく、全面積が均一に燃えると仮定しているの、この時の表面温度は家屋の全壁面で同温度である。 $t = t_1$ に達したとき、表面温度は最大値 $u$ となり、以後表面温度の上昇は生じない。やがて燃焼を続けて鎮火する。また、燃焼時間( $t = t_1$ )は総床面積が大きいほど、長くなる。 $t = t_2$ となった時点で、延焼していた家屋は鎮火するものとする。

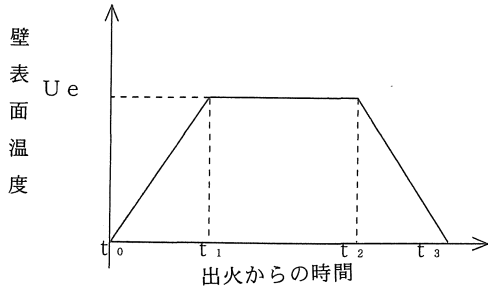


図4-1 燃焼過程モデル

4・3 構造別モデル

家屋燃焼速度および表面温度は家屋の種別によって異なる。図4-2に特性格別燃焼過程モデルを示す。

木造建物(A)は燃え上がる速度も速く、最大壁面温度も高い。防火木造(B)は、速度は遅いが、いったん燃え上がると、壁面温度は木造と同じになる。非木造(C)は速度も遅く、壁面温度も低い。

$u_e$ : 木造・防火木造の壁面温度最大値 1300℃

$u_c$ : 非木造の壁面温度最大値 800℃

A: 木造  $t_a = 8$ 分

B: 防火木造  $t_b = 10$ 分

C: 非木造  $t_c = 20$ 分

$t_a$ : 鎮火開始時間

$t_b$ : 鎮火時間

$t_a \sim t_b$ 間は、A, B, Cいずれの場合も5分間とする。

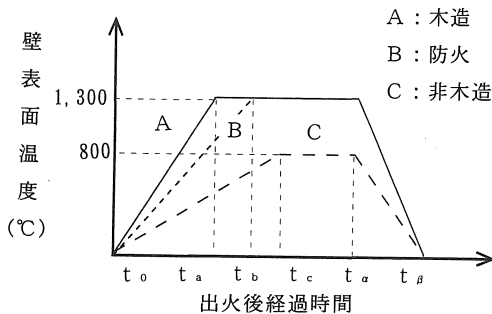


図4-2 構造特性格別燃焼モデル

4・4 輻射熱減衰曲線

燃焼中の家屋が発生する輻射熱温度は距離dに対して図4-3に示すように係数  $\alpha = 1/(\pi d^2)$  の割合で減衰する。ただし、隣棟間には最低0.5mの間隔

があり、距離20m以上では輻射熱による延焼はしないものと仮定する。距離20m以上という条件は名古屋市防災予測から得たもので、輻射熱による着火は一般の家の大きさでは20m以上では考えにくいという部分から得た。<sup>1)</sup>

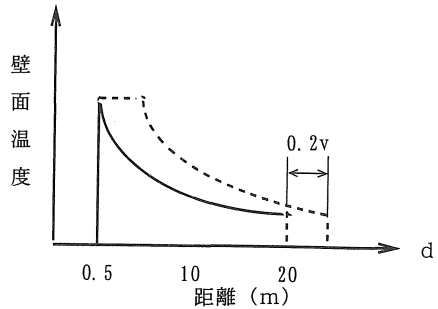


図4-3 輻射熱減衰曲線

4・5 風速・風向条件

風がある場合、延焼速度が速く延焼距離も長くなると考えられる。図4-3に示した輻射熱減衰曲線は風下の場合曲線が0.2vだけ右方向に平行移動する。したがって、延焼距離が長くなる。またある距離で考えると温度も上昇するので延焼速度が速くなる。図4-3には風速v(m/s)の風が吹いている時の延焼限界距離の伸びも示した。また、風横、風上に対しては以下で増加距離を計算した。

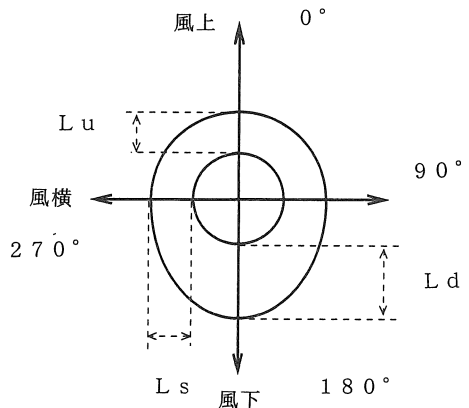


図4-5 風による延焼限界距離の伸び

$$Kd = \frac{1.6(a+d)(1+0.1v+0.007v^2)}{3+0.375a + \frac{13.91d}{10+v}}$$

$$Ku = \frac{(a+d)(1+0.002v^2)}{3+0.375a + \frac{34.78d}{25+v}}$$

$$K_s = \frac{(a+d)(1+0.005v^2)}{3+0.375a+\frac{8d}{1.15+(5+0.25v)}}$$

a : 仮定した正方形の一辺の長さ (8 mを用いる)

d : 隣棟間隔 (m)

m : 建坪率 (本研究では東京都の値=0.4を用いた)

$$d = a \left( \frac{1}{\sqrt{m}} - 1 \right) = 4.6$$

v : 風速 (m/s)

そして、風横、風上における距離を求める。

$$L_s = \frac{K_s}{K_d} \times L_d$$

$$L_u = \frac{K_u}{K_d} \times L_d$$

L d : 風下方向の増加距離 (m) = 0.2 v

L s : 風横方向の増加距離 (m)

L u : 風上方向の増加距離 (m)

#### 4・6 消火条件

地震発生時長田区内の消防署では24人7小隊を編成していた。詳細は表4-1に示す。

表4-1 震災当日の警備体制

人数	24
小隊数	7
ポンプ	2
署救助	1
救急車	2
はしご車(15m)	1
電源車	1

しかし、実際には通常時に比べると、遥かに消防活動ができていないとの報告例があるので、今回の延焼計算には消火力は入力してない。

### 5. シミュレーション結果

#### 5・1 シミュレーション条件

①出火地点は2地点とし、同時出火とした。

②風速は約3.3m/s (神戸海洋気象台データ)と小さいので、今回は風速0m/sとした。

③非木造建物については、本研究では、建物それ自体は燃えるが次の建物には延焼しないものとした。

#### 5・2 延焼動態

図5-1、図5-2、図5-3、図5-4には出火後30分、60分、90分、120分後の延焼地域を示し、図5-5は実際の延焼結果を示す。延焼は2ヶ所の出火点から拡大し、木造家屋の密集地で急激に拡大している。大きな道路が中央を南北に通っているが、延焼はこれを越えて拡大している。また、公園などの大規模な空き地では拡大が停止している。



図5-1 延焼地域 (30分後)



図5-2 延焼地域 (60分後)



図5-3 延焼地域 (90分後)

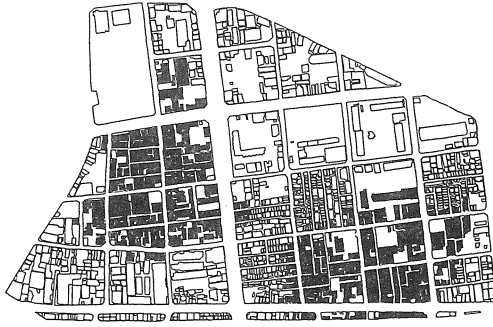


図5-4 延焼地域(120分後)



図5-5 実際の延焼地域

### 5・3 延焼速度

実際の火災とシミュレーションとの延焼速度を表1で比較してみた。シミュレーション結果は、風上、風横は実際より3倍、風下は2倍程度速いことがわかる。

表5-1 延焼速度(m/時)

	風上	風下	風横
シミュレーション結果	67.5	125	100
実際の延焼	22	64.5	33

### 5・4 焼失面積

実際の延焼と比べると、焼失面積は約2倍となる。風速が、影響の一つになっていると考えられる。

表5-2 焼失面積(km<sup>2</sup>)

シミュレーション結果	143
実際の延焼	77

### 5・4 シミュレーションと実際との比較

図5-4と図5-5を比較してみると、今回のシミュレーション結果は、第1次的には実際の延焼をかなり再現していると言える。しかし、厳しくみればシミュレーションによる結果の方が速く、焼失面積も広いことが解る。その理由として

- ①実際には倒壊家屋があったはずであり、この倒壊家屋が延焼速度を遅くした可能性がある。
- ②現地調査によれば、緑の樹木が延焼を阻止していることが明らかにされているが、シミュレーションではこのような阻止力を考慮していない。
- ③今回のシミュレーションでは消火活動による延焼阻止力を考慮していない。消防隊による消火活動、住民による消火活動の有効性において評価が難しいが、実際には延焼力を阻止する効果があったのかもしれない。
- ④これまでの延焼火災事例に比べ、今回の延焼速度は1/2~1/3遅いと言われている。

## 6. まとめ

建物1棟ごとの敷地面積、階数、構造(木造、防火木造、非木造)を考慮した。火災延焼プログラムを開発した。街を均質化したモデルを用いていた従来の手法と比較し、建物1棟ごとのモデルを用いた今日の手法は、より詳細に延焼過程を再現することができる。

本手法の特徴は、建物が燃焼する過程を発熱関数として与えたこと、隣棟への延焼を輻射熱減衰関数で与えたこと、延焼方向を16方向にしたこと、等である。

本手法を用いて、阪神淡路震災における神戸市長田区火災をシミュレートしてみた。シミュレーション結果は実際の延焼動態とほぼ一致した。しかし、延焼速度は実際より2~3倍速かった。しかし、今回比較対象とした長田区火災はこれまでの火災に比べ1/2~1/3遅い。その理由は、実際の火災では全壊家屋が多く、延焼速度を遅くしたことが考えられる。

今回のシミュレーションでは倒壊家屋の影響は入れていないので、実際の火災と一致しなかったと考えられる。

## 参考文献

- 1)名古屋市防災会議：名古屋市内における地域別地震被害想定に関する調査研究、1982
- 2)東京消防庁：兵庫県南部地震に伴う市街地大火の延焼動態調査報告書、1995

(受理 平成9年3月21日)