

市街地火災の延焼予測について

京都大学名誉教授

日本火災学会会長

堀内三郎

1. はじめに

わが国の都市は有史以来、しばしば大火に見舞われた苦い経験を持っている。殊に戦後の昭和20年代には建物の焼損面積が約3万㎡以上の大火が毎年のように頻発し、大損害を蒙った。その後各都市では市街地建物の不燃化と消防力の強化充実に努めた結果、昭和51年の酒田市の大火を最後に大火は発生していないが、決して根絶されたわけではなく、強風下や大地震発生のような悪条件のもとでの市街地の大火災発生の危険は依然として残されている。この小文では、市街地火災の危険度を予測する方法について、従来から研究開発された各種手法のうちの主なるものについてその概要を述べるとともに、各手法の相違点や適用に際しての留意点等を説明することにする。なお総合的な火災危険は、一般的に出火危険と延焼危険の積として表わすことができるので、以下では延焼危険を主とするが出火危険についても簡単に述べることにした。

2. 出火危険

a) 横井方式

この方式は昭和27年頃、当時建設省建築研究所におられた横井鎮男博士が提案されたも

ので、その基本的な考え方は、火災を確率現象として捉えるというものである。先ず「出火危険度」＝「1年間当りの一定人口（例えば10万人）に対する実火災の出火件数の統計値」で表すものとし、統計値には最近の5～10年間程度の平均値を用いるが、年間の火災件数が少ない小都市等では長期間または同程度の数都市の統計値を集め、その平均値を用いる等の考慮が必要である。なおこの横井方式では延焼危険度についても確率的な表現の指標を提案されており、出火危険度と延焼危険度の積として総合的火災危険度を表わすよう考えられているが、詳細は文献1（P.373）を参照されたい。

b) 水野方式

この方式は水野弘之博士が昭和51年に研究発表されたもので、前期のa)と同様に出火の統計値を用いるものであるが、大地震に伴う出火の予測を目的としているので、地震による住家全壊率と出火率との相関関係を基礎にしている。又この方式では季節別、時刻別の出火件数の予測を可能とした点も特長の1つである。出火件数予測値 y は次式で表わされる。

$$y = \alpha \times \beta \times B \times N \times (x/n)^a$$

ここに、 α ＝時刻係数（火気使用率）<表

1 >

β = 季節係数 < 表 2 >

N = 世帯数 (戸数でも可)

x = 全壊住家世帯数 (同上)

a, B = パラメータ (統計的推定値)

このうち、a と B の値については、過去の火災を伴った13件の地震について、出火のあった114の市区町村のデータを整理分析して、全出火の場合：B = 0.004125, a = 0.5696, 炎上火災のみの場合：B = 0.003152, a = 0.6041を得ている。

この方式の不十分な点は、出火のあった市区町村のデータのみを用いているので、全壊住家があっても出火が1件もなかった市区町村が採り上げられていない為に、算定結果が実際の出火率より大きめの値となる点である。(この点は次のc)方式では補正されている。)

c) 総プロ方式

この方式は建設省の総合技術開発プロジェクトとして昭和52年度より5ヶ年をかけて研究開発された「都市防火対策手法」²⁾の中で

表1 時刻係数 $\alpha^{(2)}$

時 刻	α	時 刻	α
0 ~ 4	0.046	16 ~ 17	1.30
4 ~ 5	0.15	17 ~ 19	2.50
5 ~ 6	0.98	19 ~ 20	1.80
6 ~ 8	1.64	20 ~ 21	1.10
8 ~ 11	1.10	21 ~ 23	0.45
11 ~ 13	1.52	23 ~ 24	0.12
13 ~ 16	0.85		

表2 季節係数 $\beta^{(2)}$

季 節	夏	春 秋	冬
全 出 火	0.3779	1.0	2.6459
炎 上 火 災	0.4152	1.0	2.4087

示された方式である。その基本的な考え方はまず市全域のような比較的広域な対象地域に対する出火件数を予測し(④段階)、次にその地域を構成する各地区毎にそれぞれの地区の出火危険度に応じて前記の出火件数を配分し(⑤段階)、各地区の出火確率を予測しようとするものである。具体的には、④については前記b)水野方式で述べた不十分な点を補足するため、出火0件の市区町村のデータも含めて計算することにし、次のi)とii)の2つの表わし方を採用している。i)は統計的検定論による安全側の推定方法により得られた出火件数を「安全率の加味された出火件数(上限値)」とするもの、又ii)は平均出火率を用いる方法により得られた出火件数を「出火件数の期待値」とするものである。次に⑤については、「各地区毎の出火危険度」= (火気器具のもつ危険度) × (建物用途のもつ危険度) × (火気器具の使用頻度)として算出する方法を開発している。なお以上の方法の詳細については文献2 (P.38)及び文献3 (P.108)を参照されたい。

3. 延焼危険

a) 浜田式

市街地火災の延焼危険の中心的要点ともいふべき「延焼速度式」については、昭和26年に故浜田稔博士が火災実験及び火災事例等を基にして提案された下記の式が最初のものである。それは<図1>に示すように、市街地を一辺がa (m)の正方形型の木造家屋が隣棟間隔d (m)を隔てて等間隔に規則正しく並んでいるものと模式的に仮定し、その中の一戸の中心点から出火した場合、風速V

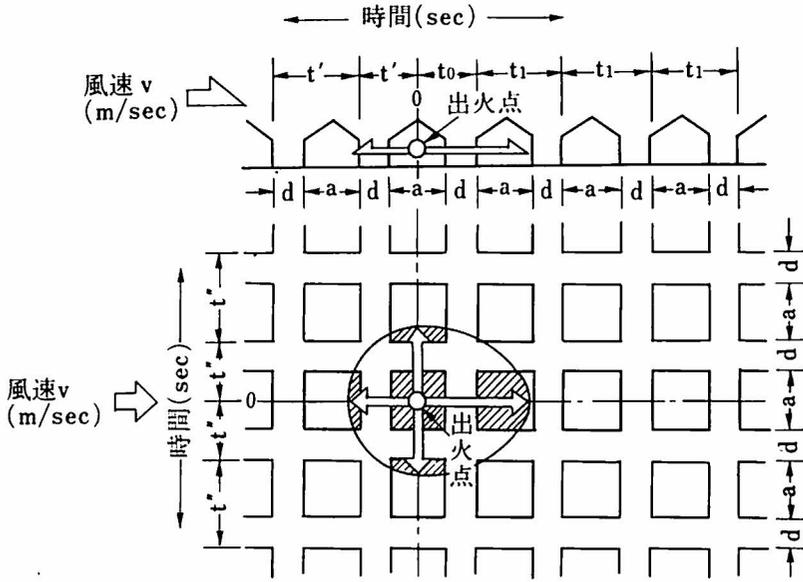


図1 市街地における木造建物の延焼速度

(m/sec) の下で出火時点から風下, 風上, 風横の各方向にある隣家の外壁面に着火するまでの時間 t_1 , t' , t'' (分) 及びさらに風下側の次の家屋に着火延焼するまでの時間 $t_1 \sim t_4$ (分) がそれぞれ (式1) で示されている。ただし $t_1 \leq 10$ 分, $10 \text{分} < t_2 \leq 30$ 分, $30 \text{分} < t_3 \leq 60$ 分, $t_4 > 60$ 分 (風上 t' と風横 t'' は時間経過と共に変化しない)。又隣棟間隔 d が, それ以上大となれば隣家へ延焼しなくなると考えられる「延焼限界距離 D (m) についても各方向別に (風下方向のみについては $t_1 \sim t_4$ と同様の経過時間別に), (式2) で示されている。

(式1)

風下側

$$t_0 = (3 + 3a/8 + 8d/D_1) / (1 + 0.1v)$$

$$t_1 = (3 + 3a/8 + 8d/D_1) / (1 + 0.1v + 0.007v^2)$$

$$t_2 = t_1/1.2 \quad t_3 = t_1/1.4 \quad t_4 = t_1/1.6$$

風上側

$$t' = (3 + 3a/8 + 8d/D') / (1 + 0.002v^2)$$

風横側

$$t'' = (3 + 3a/8 + 8d/D'') / (1 + 0.05v^2)$$

(式2)

$$D_1 = 5 + v/2 \quad D_2 = 1.5 \cdot D_1 \quad D_3 = 3.0 \cdot D_1$$

$$D_4 = 5.0 \cdot D_1$$

$$D' = 5 + v/5 \quad D'' = 5 + v/4$$

又, 上式はすべて平屋建の普通木造家屋のみから成る場合の式であるから2階建の場合には d の代わりに, $d' = d \times 0.77$ という値を用い算出する方法³⁾も示されている。同博士はその後, 建物構造に防火木造や耐火造が混在した場合や, 風下側の着火延焼時間 ($t_1 \sim t_4$) が不連続的である原式を連続的となるよう修正する改良式についても提案されている³⁾。

b) 堀内式

筆者も又, 浜田式を基礎としつつ別途に, 防火木造から成る市街地の延焼速度を与える式や, 普通木造と防火木造とが混在する場合の算出方法 (ただし, 耐火造建物についてはそれを空地とみなす方法を用いる), 及び市街地の各地区 (街区) の平均建幣率 (δ %)

を a と d との値から求める関係式等を提案している。そのうち防火木造に対する式としては前記(式1), (式2)の形にならない次の(式3), (式4)を提案している。なお式中の各記号の意味はそれぞれ, τ は t と, Δ は D と同様とする。

(式3)

風下側

$$\tau_0 = (5+5a/8+8d/\Delta)/(1+0.1v)$$

$$\tau_1 = (5+5a/8+8d/\Delta)/(1+0.1v+0.007v^2)$$

$$\tau_2 = \tau_1/1.2 \quad \tau_3 = \tau_1/1.4 \quad \tau_4 = \tau_1/1.6$$

風上側

$$\tau' = (5+5a/8+8d/\Delta')/(1+0.002v^2)$$

風横側

$$\tau'' = (5+5a/8+8d/\Delta'')/(1+0.05v^2)$$

(式4)

$$\Delta_1 = D_1/2 \quad \Delta_2 = D_2/2 \quad \Delta_3 = D_3/2$$

$$\Delta_4 = D_4/2$$

$$\Delta' = D'/2 \quad \Delta'' = D''/2$$

又, 普通木造と防火木造とが混存する場合には, それぞれがすべて同一構造の場合の時間 t と τ (D と Δ も同様) とを別々に求めた後, 両者の混在割合に応じて按分比例により混在時の時間 (T (分)) を算出する方法を提案している。さらに出火から任意の時間 x (分) 後における各方向別の延焼距離 K (m) を与える下記の(式5)も導いている。

(式5)

風下側

$$K = (a/2+d) - (x - T_0) \times (1/T_1) \times (a+d)$$

$$\text{ただし, } x \leq T_0 \text{ のときは } K = (a/2+d) \times x/T_0$$

風上側

$$K' = (a/2+d) - (x - T') \times (1/T') \times (a+d)$$

$$\text{ただし, } x \leq T' \text{ のときは } K' = (a/2+d) \times x/T'$$

風横側

$$K'' = (a/2+d) - (x - T'') \times (1/T'') \times (a+d)$$

$$\text{ただし, } x \leq T'' \text{ のときは } K'' = (a/2+d) \times x/T''$$

なお, 風下方向の延焼時間を連続的に算出する為の補正式も提案しているが詳細は文献1 (P.353) を参照されたい。なお, この延焼速度式から導かれる卵形の焼失区域の面積やその周長(火面長)の算定方法は消防組織法に基き自治省消防庁で定めている「都市等級要綱」¹⁾の中にも採り入れられ, 全国の各自治体でも利用されている。

c) 総プロシ

この方式も前述の出火危険の場合と同じく, 建設省の「都市防火対策手法」²⁾の研究で開発されたものである。この方法では風下方向の平均延焼速度 v (m/分) を次式で求めることにしている。

$$v = 2.385 - 4.729F + 0.2022U \dots \dots \text{(式6)}$$

ここに U は風速 (m/sec), また F は「不燃領域率」といい, 次式で定義される。

$$F = \text{空地率}(\%) + \{(1 - \text{空地率}/100) \times \text{耐火率}(\%)\}$$

ここに, 空地率とは短辺または直径40m以上で, かつ面積が3,000m²以上の公園, 運動場, 墓地, 田畑等の面積, 及び幅員6m以上の道路の面積との合計面積が市街地面積に占める割合(%)をいい, 又耐火率とは耐火造建物の建築面積が全建物の建築面積に占める割合(%)である。なお通常 F と U の値は, $0 \leq F < 0.5$, $4 \leq U \leq 16$ の範囲内にある。

この式は浜田式を基に, 延焼状況の経時変化を表現する為に藤田隆史博士により昭和48年に開発された延焼シミュレーションモデルを用いて, F と U 及びその他の因子を含む数十ケースのシミュレーション実験の結果から導き出されたもので, 説明変数も少く実用上適切なものと考えられる。なおこの式を導く過程で用いられたシミュレーションモデルで

は浜田式を基礎とした延焼速度式を用いており、市街地のメッシュマップ及び気象情報と出火点情報を入力データとして、着火メッシュから未燃メッシュへの延焼計算を次々と繰返し、最終的にすべてのメッシュ毎の着火時刻を出力するモデルの形を採っているが、これ以上の詳細については文献2(P.95)を参照されたい。

d) 各種延焼速度式の比較と適用について

前期の各延焼速度式のうち、a) 浜田式とb) 堀内式の両者は共に浜田博士の当初の式を基礎にして発展させたもので、式の上では多少の差はあっても全般的には大きな差異はないと思われる。しかし文献2の中で示されている昭和51年の酒田市大火の事例に適用された試算例では、浜田式では実際の延焼速度の約1.4倍、又堀内式では同じく0.9倍という結果が出たが、当日の気象や消防力等の条件を考慮に入れると、どちらの式がより適合するかはにわかには断定できないとされている。

次にc)の総プロ式は、浜田式を利用している点は同様でも電算機利用による延焼シミュレーションを用いる等の点で大きな進展がみられる。そして酒田市大火の例に適用した場合に、実際よりやや大きい延焼速度を与える傾向が認められたが、今後の研究の発展の為に例えば耐火造建物の延焼阻止効果や樹木、地形、消防力等の影響を考える場合に有利と考えられる。しかし(式6)に含まれる平均延焼速度U(m/分)以外の因子、例えば「火災前面長さ」や「焼失率」等については未だ十分な適合性のある関数形が得られておらず今後の研究課題となっている。

引用参考文献

- 1) 火災便覧(新版)共立出版, 昭和59年
- 2) 建設省: 都市防火対策手法(成果集成版)
(財)国土開発技術研究センター, 昭和58年
- 3) 地域防災診断ハンドブック(地震災害編)
(財)消防科学総合センター, 昭和58年

