

地震時の消防活動を考慮した地震火災の一予測法

山田敏博・金子史夫

An Estimation Method for Earthquake Fire Considering Fire Fighting

Toshihiro YAMADA and Fumio KANEKO

Abstract

Several practical estimation methods have been proposed for outbreak and spread of fire caused by earthquake. However, there is few research on practical method for evaluating the effectiveness of fire fighting.

In this paper, the authors have proposed a practical method for evaluating the effectiveness of fire fighting based on the basic policy of fire fighting when earthquake occurs (Table 1). Combining this method with the other methods related to outbreak and spreading of fire, an earthquake fire system has been proposed.

The procedure of estimation is shown in Fig.1. The first step, the outbreak of fire is conducted according to the Kawasumi's method. In this method, the fire outbreak ratio is calculated at first using collapsed ratio of wooden houses (Fig.2). And then, the number of fire outbreak is calculated using the fire ratio α , coefficient of social circumstance β , and γ of coefficient related to time. γ is produced by seasonal coefficient γ_1 (Table 2) driven from the seasonal index, as shown in Fig. 3, and hourly coefficient γ_2 (Table 3) driven from the hourly index, as shown in Fig.4. This outbreak of fire y in equation (1) is called whole outbreak.

The second step, spreading of fire is conducted by Hamada's method based on the real scale experiment and past fire data. In this method, spreading of fire is assumed to be oval, as shown in Fig. 5, considering the direction and velocity of wind. The urban area is modeled as shown in Fig. 6. The difference of the way of fire spreading between one-storied house and two-storied house is considered using the isothermal line due to fire, as shown in Fig.7.

Fire fighting can be classified into two types of activities. One is primary stage extinction by inhabitants. The other is fire fighting by fire brigades. The latter is separated into two stages. One is first operation at the first stage of fire spreading. The other is secondary operation at the later stage of fire spreading.

The effectiveness of primary stage extinction is usually given as primary stage extinction rate. Several ways have been studied as shown in Table 4. In this study, the fourth method shown in Fig. 8 is adopted.

In the evaluation of first operation, both extincional water supply and fire brigade rushing are considered (Fig.9). The effectiveness of water supply R_s is defined using the distribution of water reservoirs and fireplugs, and their effective radius (Fig.10). The effectiveness of fire brigade rushing R_k is defined based on the speed of fire engine (Table 5) and the running time from the fire station to the site. This running time is defined as a difference be-

tween the fire catch time of third house, as shown in Fig.11, and the preparation time for fire brigade. Until the third house catches fire, the fire brigade of first operation can extinguish the fire. The preparation time is set as shown in Tables 6 and 7, based on the fire fighting process as shown in Fig.12. Fig.13 represents the reachable area of fire engine.

The effectiveness of first operation is evaluated by the effectiveness of fire fighting R , defined as a product of R_s and R_K .

In the secondary operation, many fire engines are gathering to one fire site and diminish the front of the fire. This process is evaluated by the simulation, as shown in Fig.14.

In this paper, the results derived by applying these methods to the Kwasaki City area, is also presented. In this study, the fire spreading block is defined as a unit for evaluating earthquake fire. This block is the area of high density of wooden house, separated by fire defuse line (Fig.15) such as wide street, river and so on. Fig.16 represents the fire spreading block set up. The number of fire outbreak is calculated by Kawasumi's method based on the collapse ratio of wooden houses (Fig.17). The collapse ratio have already been gotten in another study by the authors. Table 8 represents the decreasing process of the fire number according to the fire fighting. The effectiveness of frist operation is evaluated as shown in Table 9. Fig.18 represents the result of simulation of secondary operation and Fig.19 represents the changes of area containing the fire considering the whole fire fightings.

As mentioned above, the authors have proposed a practical estimation method of earthquake fire considering fire fighting activity and got reasonable results by applying it. Though, there is some problems to be solved and this method should be considered as a prototype of new practical estimation method.

1 はじめに

明治以降の被害地震の中で最大の地震火災が発生した地震は、1923年の関東大地震である。当時の東京市では44万戸の住宅のうち約70%に当たる31万6千戸が消失し、横浜市でも宅地の約80%に当たる390万坪を焼きつくしている。消失戸数は両市およびそれらの周辺を合わせて44万7千戸に及び、東京市の被服廠跡においては1ヶ所で4万4千人の焼死者があったことが記録されており、死傷者は膨大な数に上ったことがうかがえる。

その後、1948年の福井地震において比較的大きい火災が発生しているが、それ以降は地震火災による大規模な被害は発生していない。しかしながら、地震火災は“同時多発”という特徴があり、しかも地震による衝撃によって社会が混乱している状況下において発生するため、消火のための対応が遅れる場合が多いことが考えられ、したがって、この“同時多発”型の地震火災が発生した場合の被害は計り知れないものがある。また、最近の都市化の進行は、出火危険物の集中によって地震火災の発生（出火）および拡大（延焼）の危険度の増加を招いている。したがって、地震火災に対する対応は、ますます地震防災における重要な課題になっている。

地震火災の予測方法は、関東大地震の際の出火率と木造家屋の倒壊率との関係から、河角が東京都（1968）の

「東京都の大震災火災被害の検討」の中で示したものが最初であり、その後、他の地震における資料をも加えて、水野（1978）および建設省総合技術開発プロジェクト（1982）によって出火率についての検討がなされている。また、延焼に関しては、一般火災に関する浜田（1951）による方法がよく用いられているが、この方法においては、地震時という特殊条件が考慮されていないきらいがある。

一方、消防力の評価については、いくつかのシミュレーションが行われているが、地震時という条件下における各種の要因が複雑に絡んでいるため、これらの要因の取扱いについてはいまだ確立されていない。

筆者らは、地震時における消防活動の基本フレームに基づいて、消防活動の各段階について出火の予測方法を考察し、これと消防活動の基本フレームとを組合せることによって、地震火災に対する一つの予測方法を提案する。

2 地震火災の「シナリオ」

地震火災を予測するためには、火災の発生から拡大に至る過程や消防活動の方法を十分に把握し、これに基づいて各現象や活動をモデル化することが必要である。

これらのうちの消防活動については、消防庁消防研究所（1986）によって、‘地震時における消防力の運用の最

表一 地震時における消防活動の基本フレーム（消防庁消防研究所，1986）
Table 1 Basic flame of fire fighting in case of earthquake

消防力運用の 段階区分	一次運用の段階	二次運用の段階			
		前期	後期		
火災の被害規模	(発災) (独立火災) (初期延焼火災) (街区火災)		(市街地大火)		
時間経過の日安	○ ————— ○ ————— ○ ————— ○ —————	0分	30分 60分 120分		
消 防 活 動	活動の目標	同時多発火災の初期鎮圧	延焼火災の抑制阻止	避難路・避難地の安全確保	
	部隊の運用方針	署別運用で，2隊1組の部隊で個別火災に対処する。 (分散防御)	広域的運用で，いくつかの重点的な防御対象に的を絞り，複数の部隊を集中させる連携作戦をとる。 (重点防御)	広域的運用であるが，多数の部隊を避難地・避難路確保のための防御活動あるいは，避難誘導に投入する。 (拠点防御)	
	防御戦術	火 面 包 囲 防 御	路 線 防 御	避難地・避難路防御	
消 防 活 動 障 害	走行条件	(路面被害) —————	(交通渋滞) —————	(延焼火災の影響による走行不能) —————	(避難群衆による走行困難) —————
	消防水利	(消火栓使用不能) —————	(貯水槽一部被害) —————	(未使用貯水槽の減少，利用不可能貯水槽の増大) —————	
	情報収集・伝達	(停電) —————	(電話回線故障，電話輻輳) —————	(デマ，パニック) —————	(避難群衆の混乱) —————

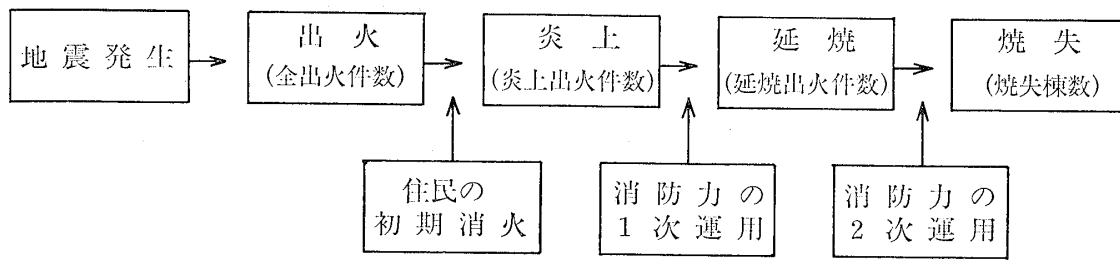
適化システム’として，火災の各段階における消防活動の方針や戦略を定め，表一に示すような基本フレームが発表されている。

そこで，地震火災がどのような過程で拡大し，それに対して消防活動がどのように対応していくかという時間経過を，上記の基本フレームにしたがってシナリオ風にまとめると以下ようになる。

地震発生直後には，ほぼ同時に多くの場所で出火することが予想される。これは“同時多発”といわれ，地震

火災の大きな特徴である。この出火直後の段階すなわち専門家による消防活動が開始される以前の段階においては，住民による“初期消火活動”によって火種が火災に至らないようにすることが最も重要となる。この初期消火活動によって消すことができなかった火は，家屋などを炎上するに至ることから，一般に“炎上出火”と呼ばれ，初期消火されたものと炎上出火を合わせて，“全出火”と呼ばれている。

炎上出火の段階になるともはや住民の手には負えなく



図一1 地震火災と消防活動の流れ

Fig.1 Diagram of earthquake fire and fire fighting

なり，消防力の出動が必要となる。この段階の消防体制は“一次運用”といわれ，この段階の目標は“同時多発火災の初期鎮圧”で，消防車1台を1隊とする2隊1組で編成された部隊が現場に出動し，火を取り囲んで消火に当る“火面包囲防御”という戦術をとることになる。

一次運用の段階で消し止められない火は延焼へと拡大することになり，この延焼段階への出火を“延焼出火”と呼ぶことにする。この段階になると，もはや個々の部隊では対応しきれなくなり，部隊を広域的に運用して消防活動に当るようにする。これは“二次運用”と呼ばれている。

二次運用の段階においては，火災の拡大の程度によって消防活動の目標や防御戦術が異なってくる。二次運用段階への移行当初では，部隊を集中させることによって火面を包囲することによる防御が可能な場合を想定することができる。しかしながら，火災規模がある程度以上に大きくなると，延焼火災の抑制阻止が不可能となり，この段階に至ると避難者の安全確保が第一の目標になる。すなわち，二次段階における防御戦術は“路線防御”から“避難地・避難路防御”へと変わり，それにしたがって，部隊の運用も“重点防御”から“拠点防御”へと変化する。

以上に述べた地震火災の拡大に伴う消防活動の変化過程を要約すると，図一1に示すようになり，この図に示す出火および消防活動のそれぞれの各段階について予測法を設定することにした。

3 出火の予測方法

3・1 出火の予測方法に対する考え方

地震による出火の予測方法には，大別すると

- ① 相対的な出火危険度を算定する方法
- ② 出火件数を算定する方法

の2つの方法になる。①は，地域ごとの出火危険度の差が相対的に把握できれば，出火防止対策の指標として充分であるという考えに基づくものであり，②は，できる

限り具体的な出火件数，さらには焼失棟数を予測し，その結果に基づいて対策を立てるという考えに基づくものである。この報文では，消防活動を考慮して具体的な焼失棟数を予測することを目的としているために，②の方法を採用することにした。

つぎに，具体的な出火件数を予測する方法としては，通常はつぎの3つのうちのいずれかが用いられている。

- ① 木造建物の被害から出火件数を予測する方法
〔河角の方法（東京都，1968）〕
- ② 一般火気器具からの出火件数を予測する方法
〔水野の方法（水野，1978）〕
- ③ 一般火気器具からの出火件数を予測する方法
〔総プロ*の方法（総プロ，1982）〕

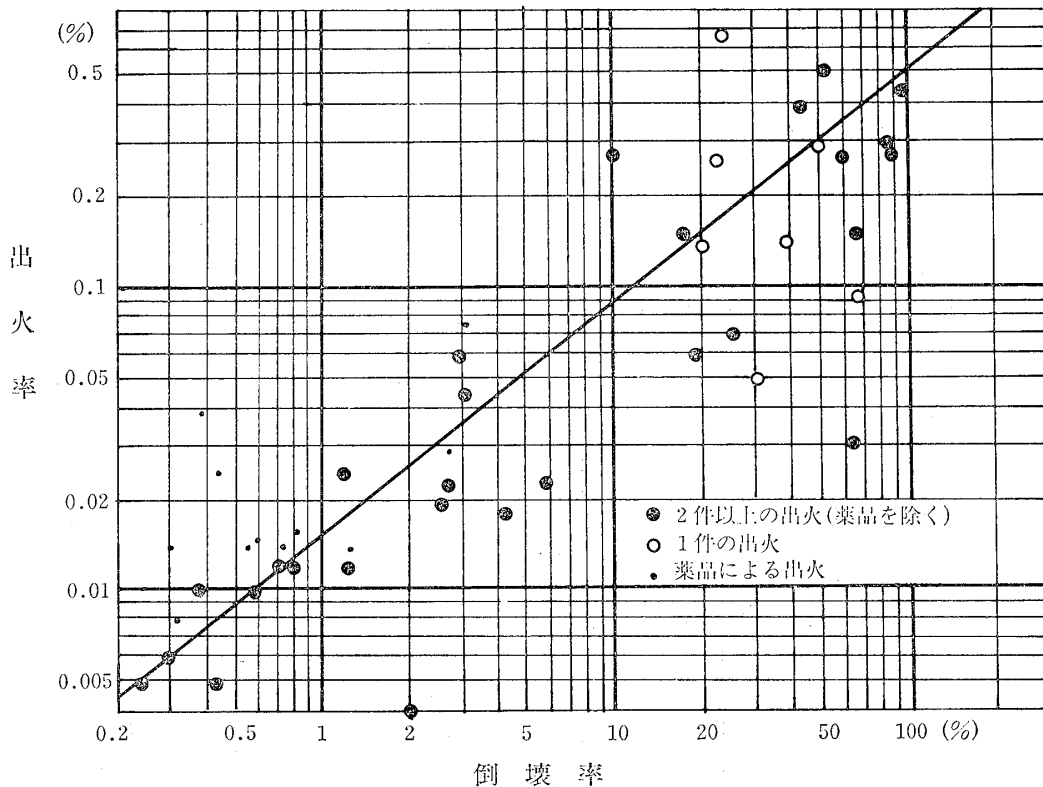
いずれの方法も過去の地震に関する記録に基づいて，木造建物の全壊率（全壊棟数／木造建物棟数）と出火率（出火件数／木造建物棟数）との関係を求め，これに季節や時刻の影響を考慮するというものであるが，これらの方法の相違点は下記に示す通りである。

対象とした地震に関しては，河角の方法では，関東大地震だけを用いているのに対して，水野の方法と総プロの方法では，関東大地震の他に，それ以降の出火のあった13の地震をも用いている。しかし，水野の方法では，出火のなかった地域のデータは採用していないのに対して，総プロの方法では，出火はなかったが建物の全壊被害があった地域のデータを含んでいる。

出火要因については，河角の方法では，出火源の使用環境（木造建物であること）に着目し，火気器具の他に薬品の転倒などによるものも含んでいる。また，非木造建物における出火は延焼しにくく，大規模火災にはならないとして除いている。これに対して，他の2つの方法は，出火源として一般火気器具のみを想定し，薬品などによる出火は除かれている。

予測対象とする出火の種類については，河角の方法では，“全出火”件数を予測対象とし，水野の方法では，

* “建設省総合技術開発プロジェクト”の略称



図一 関東大地震における倒壊率と出火率との関係 (東京都, 1968)

Fig.2 Relationship between collapse ratio and fire ratio due to the Great Kanto Earthquake

“全出火”件数を予測対象とするとともに、住民による初期消火のことを考慮して“炎上出火”件数をも対象としている。総プロの方法では、“炎上出火”件数のみを対象としている。

季節および時刻の補正については、水野の方法および総プロの方法では、それぞれ補正係数が設定されているが、河角の方法では、これらの補正係数を通常時の火災資料を用いて別途求める必要がある。

なお、これらの方法を一般的な条件下で比較すると、予測される出火件数は、水野の方法、総プロの方法、河角の方法の順に小さくなるといわれている。

図一は関東大地震における倒壊率と出火率との関係を示したものであるが、資料のばらつきは極めて大きい。このようなばらつきの大きい資料に基づいている上記の方法は、いずれの方法を用いる場合であっても、1つの目安であると考えておく必要がある。したがって、いずれの方法が優れているとは一概に言えず、それぞれの方法の適用範囲を検討して、目的に合ったものを選択することが大切である。

筆者らは、上記のような点を念頭に置いて、

- ① 平常時の出火傾向を考慮すること。
- ② 非木造建物はそれ自体が燃えても他の建物への

延焼は少ないと考えられること。

- ③ 出火源として一般火気器具以外に薬品なども重要であると考えられること。

という3つの条件を考える場合、最も適切な方法として河角の方法を採用して出火件数を予測することにした。

3・2 河角による出火件数の予測式

河角は、地震時の全出火件数を予測する方法として、つぎの式を示している。

$$y = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot x \quad (1)$$

ここに、 y : 出火件数

α : 関東大地震時の出火率 (%)

β : 社会事情変動係数

γ : 季節係数(γ_1)×時刻係数(γ_2)

x : 現在の木造建物棟数

筆者らは(1)式における α 、 β および γ について下記に示すように設定した。

- 1) 関東大地震時の出火率 (α) について

関東大地震時の出火率 (α) について、河角は、関東大地震時の木造建物の倒壊率 (全壊および修理不可能の半壊を含む比率) と全出火率 (全出火件数/木造建物棟

数) の関係を示す図-2 を用いて出火率を求めるとして
いる(東京都, 1968)。これに対して, 宮部(1969)は,
図-2 からつぎの式を導いている。

$$\log_{10}\alpha = -1.8239 + 0.7437 \log_{10}Z \quad (2)$$

ここに, Z: 木造建物の倒壊率(%)

2) 社会事情変動係数(β)について

社会事情変動係数(β)は, 関東大地震当時と予測を
しようとする時点(現在)における火災の発生しやすい

さの違いを補正する係数であって, 河角は, 「関東大地
震当時は薪や炭などの固形燃料を使う火気器具が多く,
この点では現在の状況とは大きく異なっている。この方
法ではこのような出火原因の違いなどを含めたものを社
会事情変動係数で表現する」と述べ, つぎのような式で
表すことを提案している。

$$\beta = \frac{\text{現在の平常時の木造建物火災出火率}}{\text{大正11年当時の建物火災出火率}^*} \times 0.848^{**}$$

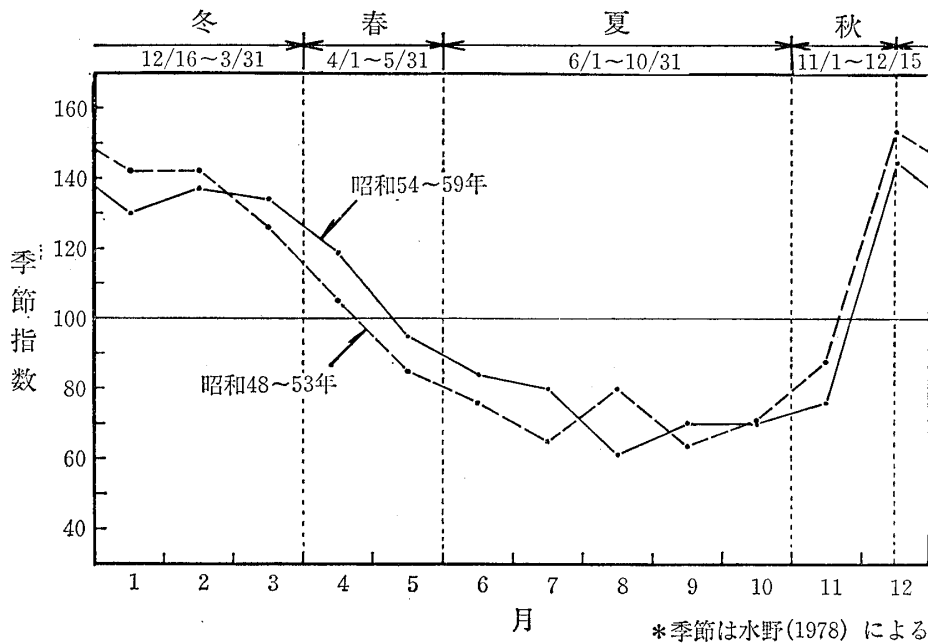


図-3 建物失火火災の季節指数
Fig.3 Seasonal index of accidental house fire

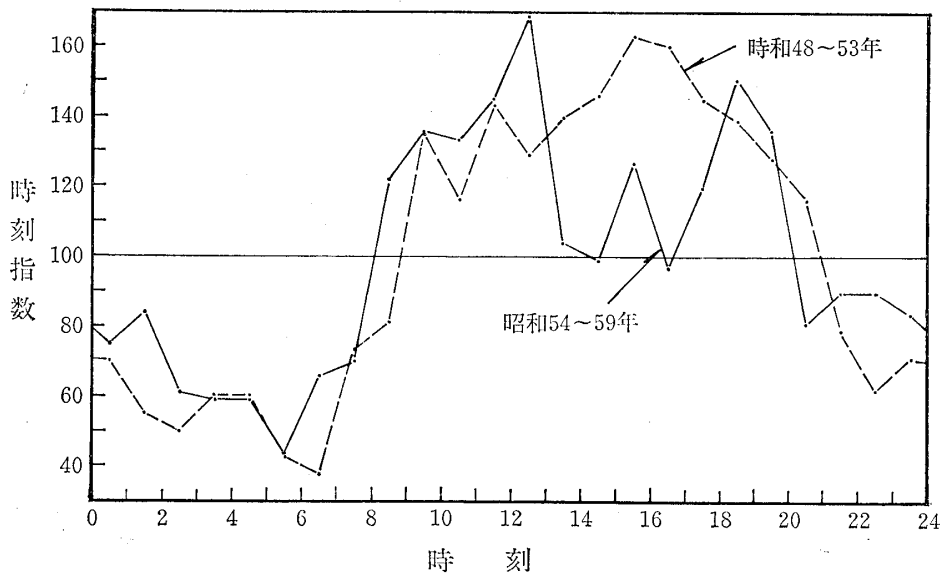


図-4 建物失火火災の時刻指数
Fig.4 Hourly index of accidental house fire

$$= \frac{\text{現在の平常時の年間木造建物火災件数}}{\text{現在の木造建物棟数}} \times \frac{0.848}{0.215(\%)}$$

$$= \frac{\text{現在の平常時の年間木造建物火災件数}}{\text{現在の木造建物棟数}} \times 3.944$$

ここに、*：関東大地震当時の建物を全て木造建物と仮定する。

**：この0.848という係数は昭和26年の火災調査基準の改正に伴う修正係数である。昭和26年以前には「不至小火（ぼやに至らず）」を統計上は含めなかったが、現在では含んでいることによる。

3) 季節係数 (r₁) と時刻係数 (r₂) について

火気器具の使用量には季節や時刻によって差があり、一般火災の発生率においてもその差を示す傾向が現れている。したがって、関東大地震の時の出火率は、この地震が発生した季節や時刻の要素を反映したものと考えられるため、他の季節や時刻に起きる地震を想定する場合には、これらの影響を補正する必要がある。

図-3および図-4は、一例として、昭和54年～昭和59年の6年間の川崎市における季節および時刻による平常時の出火件数の年平均を、年間平均出火件数に対する比率（指数）としてそれぞれ表したものである。また、

表-2 季節係数 (r₁)
Table 2 Seasonal coefficient (r₁)

季節	期間*	季節係数
春	4/ 1～5/31	1.35
夏	6/ 1～10/31	1.00
秋	11/ 1～12/15	1.35
冬	12/16～3/31	1.93

* 水野(1978)の分類による

表-3 時刻係数 (r₂)
Table 3 Hourly coefficient (r₂)

時刻	時刻係数	時刻	時刻係数
0～5	0.47	15～16	1.02
5～7	0.31	16～18	0.88
7～8	0.49	18～19	1.01
8～11	0.81	19～20	0.88
11～13	1.00	20～22	0.62
13～15	0.81	22～24	0.47

それぞれの図には、橘(1980)によって調べられた昭和48年～昭和53年の6年間の結果を合わせて記入してある。これらの結果を比較すると、図-3の季節指数においては両者の間にほとんど差はないが、図-4の時刻指数においては、正午から夕方にかけて相違が見られる。

筆者らは、これら両者の結果から得られる昭和48年～昭和59年の12年間の平均値によって季節指数および時刻指数を求め、これを関東大地震が発生した季節（夏）と時刻（12時）で正規化し、それぞれ表-2および表-3に示すような季節指数 (r₁) および時刻指数 (r₂) を求めた。

4 延焼の予測方法

延焼による危険度は、対象とする地域の木造建物の密集度や空地の分布状況などによって異なる。すなわち、木造建物や消防法などで危険物として規定しているような可燃性の媒体が少なく、空地や比較的幅の広い道路の多いところでは延焼危険度は低く、木造建物の密集地域では危険度が高くなる。このような要因を考慮した延焼のシミュレーションの方法としては、一般的には、浜田の方法が最もよく用いられており、筆者らもこれによって延焼の予測を行うことにした。

4・1 浜田の延焼速度式

浜田(1951)は、過去の火災例や実物大の木造建物に対する火災実験に基づいて、火元である建物から隣の建物に着火するまでの時間を、風速、隣棟間隔、建物の大きさをパラメータとして表す式を提案した。その後、浜田(1966, 1973)は修正を行ってつぎのような延焼速度式を示した。

$$\text{(風下)} \quad V = n \cdot K \cdot \frac{t+14}{t+25}$$

$$\text{(風横)} \quad V' = n \cdot K' \tag{3}$$

$$\text{(風上)} \quad V'' = n \cdot K''$$

$$K = \frac{1.6(a+d)(1+0.1v+0.007v^2)}{3+\frac{3}{8}a+\frac{8d}{1.15(5+\frac{v}{2})}}$$

$$K' = \frac{(a+b)(1+0.005v^2)}{3+\frac{3}{8}a+\frac{8d}{1.15(5+\frac{v}{4})}}$$

$$K'' = \frac{(a+b)(1+0.002v^2)}{3 + \frac{3}{8}a + \frac{8d}{1.15(5 + \frac{v}{5})}}$$

ここに、 V, V', V'' : 延焼速度 (m/sec)

t : 出火からの時間 (分)

a : 建物を正方形と仮定した場合の一辺の長さ (m)

d : 隣棟間隔 (m)

v : 風速 (m/sec)

n : 延焼速度比。普通木造建物, 防火造建物, 耐火造建物の建築面積換算の混在比を $a' : b' : c'$ ($a' + b' + c' = 1.0$)

とすると, n は次式で与えられる。

$$n = \frac{a' + b'}{a' + \frac{b'}{0.6}} (1 - c')$$

(3)式を t について積分することによって, t 分後における延焼距離を求める式が得られる。この場合, 延焼領域は延焼の先端である“火面”を楕円曲線と仮定している(図-5 参照)。

(風下) $D = n \cdot K \cdot 1.6 \times [t + 11 \ln \{25 / (t + 25)\}]$

(風横) $D' = n \cdot K' \cdot t$

(風上) $D'' = n \cdot K'' \cdot t$ (4)

$$A = \frac{\pi D'}{2} (D + D'')$$

ここに, D, D', D'' : 延焼距離 (m)

A : 延焼面積 (m²)

4・2 市街地のモデル化

(2)式においては, 実際の市街地をモデル化して取扱, モデル化は以下のようにしている。

1) 建物の一辺の長さおよび隣棟間隔

市街地は図-6に示すようなモデルに置き換える。すなわち, 図の点線で囲まれた地域の面積を S , その地域内の建物の建築面積の和を S_h とするとき, 市街地モデルの建物の一辺の長さ (a), 隣棟間隔 (d) および建ぺい率 (α) は, つぎの式によって計算する。

$$a = \sqrt{\frac{S_h}{9}}$$

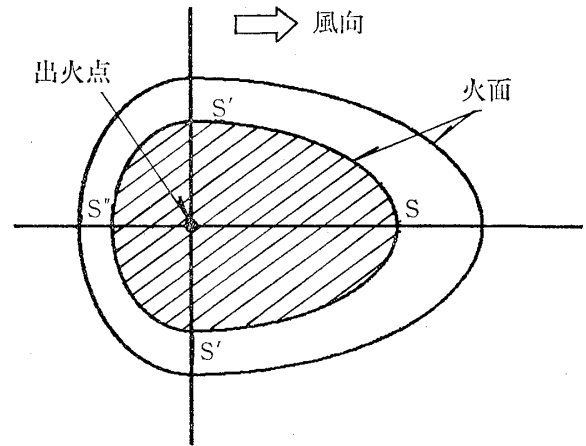


図-5 火災の拡大状況
Fig.5 A way of fire spreading

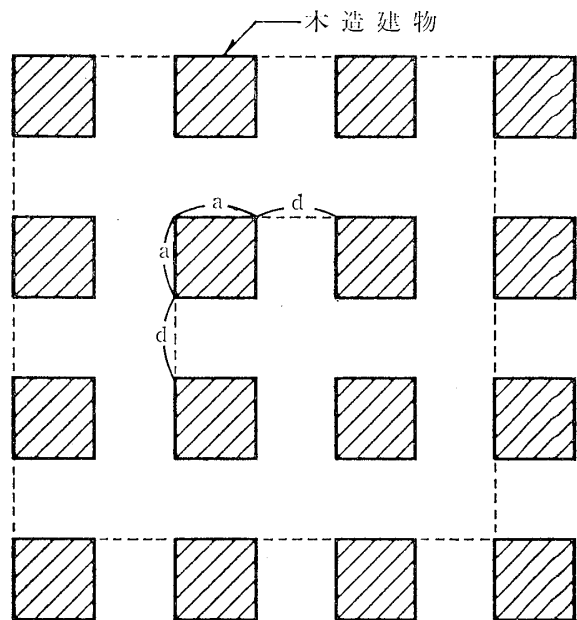


図-6 市街地のモデル化
Fig.6 Modelizing of urban area

$$d = \sqrt{\frac{S}{9}} - a \tag{5}$$

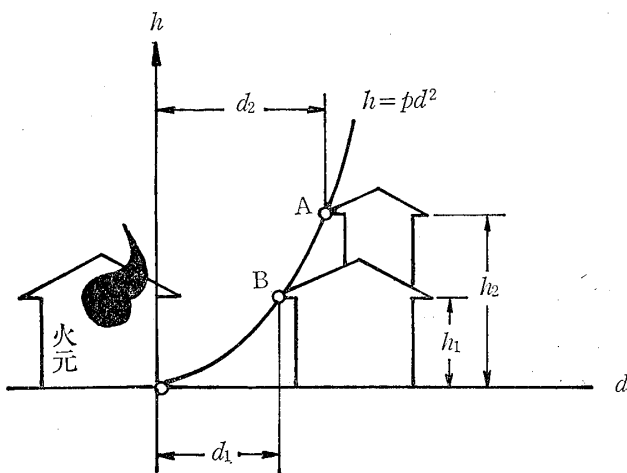
$$\alpha = \frac{S_h}{S} = \frac{a^2}{(a+d)^2}$$

なお, 上式は建物を全て平家とした場合であるが, 2階建の場合には, 図-7に示すように, 1階建に比べて等温面が遠くへ及ぶ。図-7において p を定数とすれば,

$$h_1 = p \cdot d_1^2$$

$$h_2 = p \cdot d_2^2$$

したがって,



図一7 火元建物からの等温線 (浜田, 1969)
Fig.7 Isothermal line of burning house

$$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

一般の木造建物において、 $\sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \approx 1.7$ とすると、

$$d_2 = 1.3 \times d_1 \quad (\text{または } d_1 = 0.77 \times d_2)$$

上式は、延焼に関して、 d_2 の距離にある2階建の建物と d_1 の距離にある平家建の建物は同等とみなしてもよいことを意味している。そして、2階建の建物が混在する市街地における建べい率 (α' : 補正建べい率) をつぎのように示している。

$$\alpha' = \alpha \times [(2-N) + (N-1) \times \{1 + 0.46(\frac{1}{\sqrt{\alpha}} - 1)^2\}] \quad (6)$$

ここに、 α : 建べい率

$$N: \text{平均階数} \left(N = \frac{m_1 + 2m_2}{m_1 + m_2} \right)$$

m_1 : 平家建の建物棟数

m_2 : 2階建の建物棟数

2) 延焼速度比

延焼速度比 n を求める式の根拠について、浜田(1974)はつぎのように説明している。

「耐火造の延焼速度比: ここでは地域的な規模での延焼を扱うので、耐火造ばかりからなる市街地の延焼速度比は0と考えてよいし、純木造や防火造と混在する場合には、耐火造から隣の純木造又は防火造への延焼は極めて稀なことであるから、このような場合の耐火造の評価は、延焼速度比を同じく0と考える。

防火造の延焼速度比: 防火造の延焼速度は純木造の

延焼速度との比率で処理するように考える。そしてこの値は純木造では防火木造に比し、出火から最盛時までの時間は7.3分/16.6分=0.44であるという多くの実大火災実験の結果を一つの根拠とし、これを防火木造と純木造との延焼速度比と考える。

つぎに既往の研究においても、上述の延焼速度比を扱ったものがあるので、それを紹介すると、損害保険料算定会の都市の火災危険率算定では、前述の延焼速度比は $1/1.34=0.75$ 、半壊混在の場合には、 $1/1.24=0.808$ としてあり、日本火災学会で同様の研究を行った際にも同じ値を使った。

また東京消防庁火災予防対策委員会での被害推定では、約0.63となっている。

参考となる速度比は以上の三つだが、本書では、それらのほぼ平均値である0.6とした。」

筆者らは、上記の浜田の考え方にしたがって、延焼速度比として0.6を使用することにした。

5 消防活動の評価方法

消防活動には、住民による“初期消火”活動と公設の消防力による活動がある。後者は、前に述べたように、“一次運用”と“二次運用”に別れている。

5・1 初期消火活動の評価方法

初期消火の効果は、通常は、全出火点数に対する消火される出火点数の割合、すなわち“初期消火率”で評価している。また、初期消火によって消火されずに炎上する“炎上出火”は、つぎのように表すことができる。

$$\text{炎上出火件数} = \text{全出火件数} \left(1 - \frac{\text{初期消火率}}{100} \right)$$

しかしながら、地震時における初期消火という活動の評価は、住民が持っている消火能力というような量的に設定できるものよりは、地震時の人間の心理状態や行動の迅速さ、適切さなどのように定量化が困難なものの積み重なった結果によるものである。この初期消火の効果を表す初期消火率については、地域防災診断ハンドブック(地震災害編)(1983)によれば、表一4に示すように、東京都防災会議、大阪市、水野弘之および仙台都市圏防災モデル都市建設計画調査委員会による初期消火率が示されている。これらの機関による考え方をみても、推定の域を出ないのが現状である。因みに、平常時の初期消火率は80%程度であるといわれている。

地震時における初期消火率については、上述の通りで

表一4 初期消火率の設定方法（消防科学総合センター，1983）

Table 4 Method for setting up primary stage extinction ratio

機関	東京都防災会議	大阪市	水野弘之	仙台都市圏防災モデル都市建設計画調査委員会
初期消火率	60%	40%	炊事用火気器具からの出火に対しての初期消火率は約38~56% (=47±9%) であり、暖房用火気器具からの出火に対しては、上記より小さ目である。	震度と地域性を考慮し、震度Vの地域全体で78.6%、このうち市部が68.4%、同様に震度VIで51.8%と45.9%、震度VIIでは43.9%と23.8%としている（図-8参照）。
考 え 方	通常時の初期消火率（建築火災の分野における小火の割合）が80~82%であり、一方、関東大地震時の初期消火率（旧東京市内における全出火件数に占める即時消火火災の割合）が、57件/134件=42.5%であったことから、その後の防災思想の普及を考慮して、両者の中間値として約60%の初期消火率が期待できる。（東京都，1968より）	延焼火災率（=延焼火災件数/全火災件数）を考えた場合、関東大地震の場合はおおむね58~68%である。 一方、大阪市の平常時の建物火災における延焼火災率（昭和40~44年の平均）は48%、推定延焼火災率（超過確率5%）は53.7%である。ゆえに、今後予想すべき延焼火災率は、関東大地震と平常時の中間にあるものとして60%とし、残りの40%は住民の消火を期待するものである。（大阪市，1971より）	既往の地震時出火事例をもとに初期消火率を算定すると、平均は約47%となる。これに95%の信頼区間を計算し、47±9=38~56%とした。なお、地震時の初期消火率はどのような火気器具から出火したかによって異なる。たとえば、1968年十勝沖地震の資料では、暖房用火気器具の消火率（85.7%）に比べかなり小さくなることから、炊事用火気器具の初期消火率は38~56%とし、暖房用火気器具ではそれより小とした。（水野，1978より）	主に水野(1978)による地震データをもとに算出した。初期消火率は（全出火件数-延焼出火件数）/全出火件数×100%として計算した。また、震度は倒壊率=全壊率+1/2半壊率とし、倒壊率2%未満を震度V、2%以上30%未満を震度VI、30%以上を震度VIIとして求めた。（自治省消防庁，1981より）

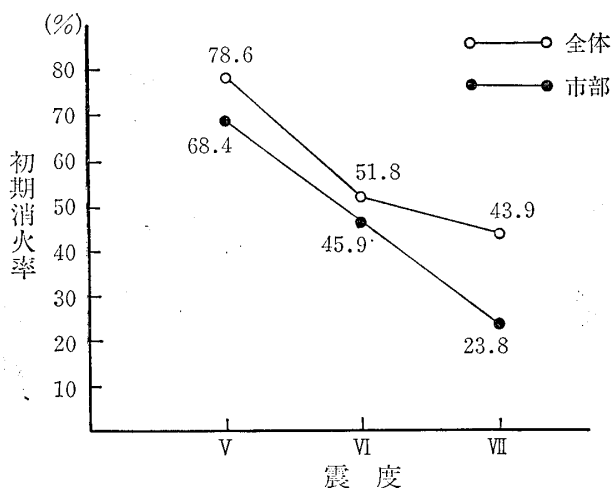


図-8 震度と初期消火率との関係（自治省消防庁，1981）

Fig.8 Relationship between J.M.A. seismic intensity and primary stage extinction ratio

あるが、筆者らは、震度Vで60%、震度VIで40%、震度VIIで20%とした。

5・2 消防力の一次運用段階の評価方法

地震火災に対しては、住民によるいわゆる初期消火活動によって火災に至らないようにすることは重要であるが、不幸にして、炎上出火の段階に発展した場合、消防力が対応することになる。これは、消防力の一次運用の初動段階で、火災1件当たり2隊を1組とする行動単位で消防署所ごとに対応するものである。地震火災は同時多発であることが特徴であるために、消防力の初動活動によって対応しきれなくなると、延焼火災へと進展し、市街地大火となる恐れが生じた段階で、消防署所ごとの“分散防御”の体制から、地域全体の火災動態や避難動向を判断しつつ対応する総括的部隊運用に変更することになっている。

このような消防力の行使のうち、消防力の効果および火災被害を最小限に食い止めるという点から最も重要となるのは消防活動の初動段階である。したがって、この

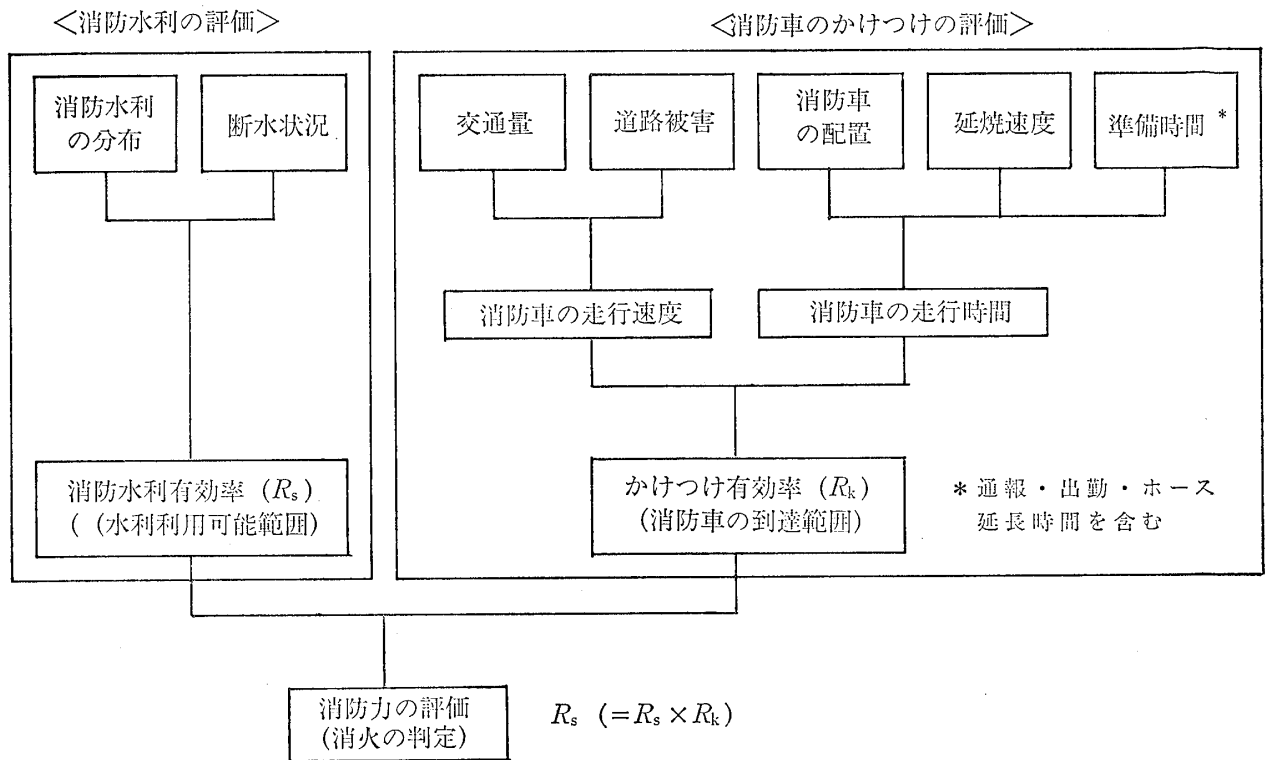


図-9 消防力の評価の流れ

Fig.9 Diagram for evaluation of fire fighting capability

初動活動段階における消防水利と消防車のかけつけ状況を図-9に示すように分けて考察し、消防力の一次運用段階を評価することにした。

5・2・1 消防水利

消防水利とは、消防活動に利用できる水の供給源を意味しており、具体的には消火栓、防火水槽、プール、河川などを指している。平常時の消防活動では、ほとんどの場合、消火栓が利用されている。消火栓は平常時には極めて有効であると考えられるが、1964年新潟地震の際の新潟市においては、地盤の液状化によって水道管が多大な被害を受け、消火栓が使用不能になった地域が見られた。このように、地震時には水道管路の被害によって消火栓が利用できなくなる恐れがある。したがって、地震時のことを考えると、消火栓を主とするよりは、より信頼性の高い防火水槽やプールなどを中心にし、断水がない場合には消火栓をも合わせて使用するような消防水利を考えておく必要がある。プールについては、以前は消防水利として位置づけられていなかったが、最近では災害時の飲料水や消防水利の確保を目的として鋼板化する例も多く、今後は防火水槽とともに地震時の消防水利として重要な役割を果たすことになるであろう。

一方、それぞれの消防水利が有効に機能するのは、ホースの延長可能範囲に限られる。消防水利の基準（自治

省消防庁、1975）によれば、消防水利1箇所の有効範囲は、消防水利から防火対象物までの直線距離を最長140mとし、これを半径として描いた円によって表されている。この距離は消防車が長時間にわたって無理のない放水ができることと、ホースを延長する時間を考慮した場合の最高限度と考えられるホースの延長本数10本（200m）に対して、図-10に示すように、道路に沿って直角

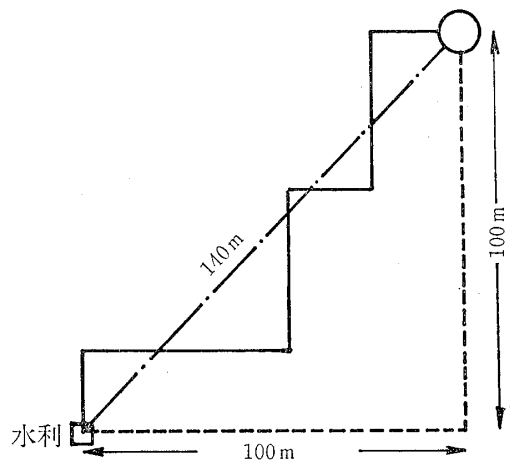


図-10 ホース延長と到達距離との関係 (自治省消防庁、1975)

Fig.10 Relationship between hose extension and its reachable distance

にホースを延長する場合のホースの屈曲を考慮して求めたものである。

そこで、消防水利の有効範囲の考え方に基づいて、

- ① 地震時における主要な消防水利は、防火水槽とプールである。
- ② 上記の消防水利の有効範囲外においても、断水していない区域では消火栓が使用できる。

の2つの事項を前提として、消防水利が利用できる区域の総面積のその地域全体の面積に対する比率を求め、この比率を“消防水利有効率 (R_s)”と呼ぶことにした。

$$R_s = \frac{m \cdot \pi r^2 + R_w(S - m \cdot \pi r^2)(1 - W_s)}{S} \times 100 (\%) \quad (7)$$

ここに、 R_s : 消防水利有効率

m : 防火水槽、プールの数

r : 消防水利の有効半径 (m)

R_w : 消火栓の有効率

W_s : 断水率

S : 地域の面積 (m^2)

ただし、消防水利の有効半径 r については、前述のように、消防水利の基準では最長 140 m としているが、防火水槽やプールが近接し有効範囲が重なる場合や有効範囲が他の地域にまたがる場合もあるので、安全を見込んで $r = 100m$ とする。また、消火栓の有効率 R_w については、平常時の利用状況の例を参考にして $R_w = 0.8$ とする。一方、断水率 W_s は、その地域の水道管路の地震による被害の予測から設定することができる。

5・2・2 消防車のかけつけ

消防車が火災現場に出動することを“かけつけ”という。一次運用の初動段階において、2隊1組の部隊編成の消防車が、消火可能な時間内に火災現場に到着し、消火活動を開始できるか否かが最重要事となる。そのためには、出火現場に到着するまでの消防車の走行速度と走行時間を求めることによって、消火可能なかけつけ距離(範囲)を求めることが必要である。

1) 走行速度

地震時においては、路面の亀裂などによる道路被害や車両交通の混乱によって、消防車の走行速度は、平常時と比べてかなり遅くなることが予想される。

消防力の基準(自治省消防庁、1975)によれば、署所の担当面積を算定する際に、平常時の平均的な走行速度を 24km/h としているのに対して、東京消防庁(1974)では、地震時における消防車の走行速度を 15km/h と想定している。また、特に交通量の多いところでは混乱の度合いも大きく、走行速度がさらに遅くなることもあると

表一五 地震時における消防車の走行速度

Table 5 Speed of fire engine in case of earthquake

交通量* / 道路被害**	大	中	小
大	10	15	15
中	15	15	15
小	15	15	24

(単位: km/時)

* 平日の7~19時の交通量が 15,000台以上:大, 15,000~10,000台:中, 10,000台以下:小

**道路被害率(箇所/km)が 0.15以上:大, 0.15~0.1:中, 0.1以下:小

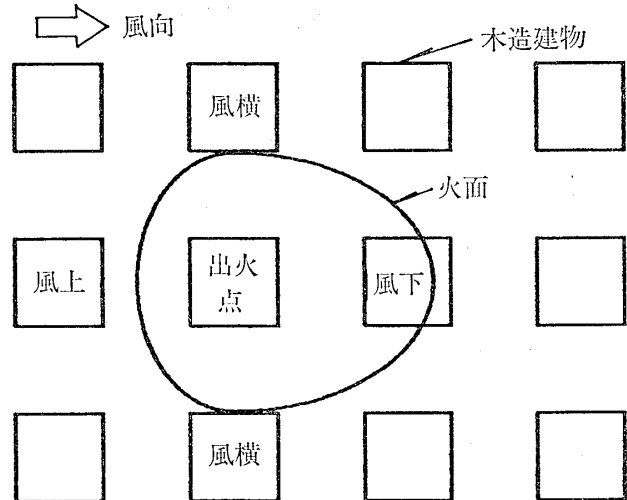
して 10km/h と想定したものもある。

筆者らは、上記の走行速度の値を参考にして、表一五に示すように、交通量と道路被害状況をそれぞれ3段階に分類し、それらの組み合わせによって、地震時における消防車の走行速度を設定した。

2) 走行時間

消防車1台には放水用の筒先が2口装備されており、この筒先1口が受持つ火面周長(火面の幅)は、通常10~15mであるといわれている。したがって、一次運用の初期段階における2隊1組の部隊による防御可能な火面周長は40~60mとなる。消防力の基準では、平均的な木造建物の一辺の長さを8mとしており、この基準にしたがえば、上記の火面周長は5~7辺に当り、建物にすると約2棟相当分が消火可能であることを意味している。

上記のような初期段階の消防力を考えると、図一11に示すように、3棟目に該当する風横の建物に燃え移る前



図一11 隣棟への着火

Fig.11 Fire sreading to neighboring house

表一6 地震時における消防活動の所要時間

Table 6 Required time for fire fighting in case of earthquake

	通 報 時 間	出 動 準 備 時 間	放 水 準 備 時 間*
消防庁(1975)	2.0 ~ 2.5	0.5	1.5 ~ 2.0
関 沢(1981)	2.0	0.5	2.75

* ホース延長本数10本の場合

(単位：分)

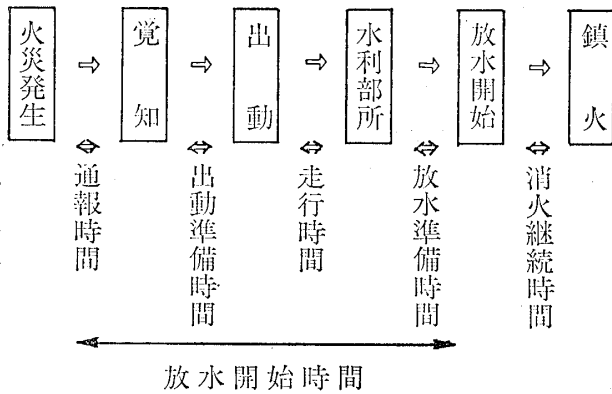
表一7 地震時における消防活動の所要時間の設定

Table 7 Setting up of required time for fire fighting in case of earthquake

通 報 時 間	出 動 準 備 時 間	放 水 準 備 時 間*	計
2.0	0.5	2.0	4.5

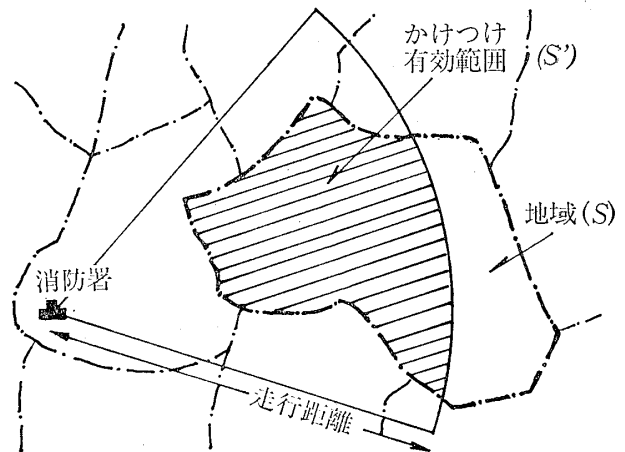
* ホース延長本数10本の場合

(単位：分)



図一12 消防活動の一般的な経過と所要時間 (関沢, 1981)

Fig.12 General process of fire fighting and required time



図一13 消防車のかけつけ可能な範囲

Fig.13 Reachable area of fire engine

に放水を開始することによって、この出火箇所の消火は可能であると考えることができる。

図一12は一般的な消防活動の経過を示したもので、通報から放水開始までの時間を通報時間、出動準備時間、走行時間および放水準備時間に区分してある。出火箇所の消火可能な時間内に放水が開始されれば、初期段階の消防活動は成功したことになるのであり、消火を可能にするために許される走行時間は、放水開始時間から通報時間、出動準備時間および放水準備時間を差し引いたものとなる。

地震時の通報時間、出動準備時間および放水準備時間については、自治省消防庁(1975)および関沢(1981)は、表一6に示すような時間を想定している。これら両者の値に若干の相違はあるものの本質的なものではない。筆者らは、これらの値を参考にして、表一7に示す値を設定した。表一7によれば、通報時間、出動準備時

間および放水準備時間の合計は4.5分であり、表一6に示す消防力の基準に記載されている合計値(4.0~5.0分)の中間値に当り、関沢の合計値(5.25分)に比べると小さな値である。

3) かけつけ有効率

1)および2)において述べた方法によって設定された走行速度および走行時間から走行距離を求め、図一13に示すように、この走行距離を半径とし、消防署の位置を中心として円を描き、この円が対象地域と重なる部分(図中の斜線部分)を消防隊がかけつけられる範囲と考え、この部分の面積がその対象地域の面積に占める割合を“かけつけ有効率”と定義した。すなわち、

$$R_k = \frac{S_k}{S} \times 100 (\%) \quad (8)$$

ここに、 R_k ：かけつけ有効率（％）

S ：対象地域の面積

S_k ：かけつけ有効範囲の面積

なお、走行距離を設定するに当っては、消防水利におけるホースの延長と到達距離の関係を求めた場合と同じように、道路の屈曲を考慮して補正してある。

5・2・3 一次運用段階の総合的評価方法

さきに述べたように、一次運用段階の消防活動の評価を行うに当って、消防活動を消防水利と消防車のかけつけ状況の2つに分けてそれぞれについて検討し、消防水利有効率 R_s およびかけつけ有効率 R_k を求め、これらによってそれぞれの有効性を評価した。

そこで、消防水利およびかけつけ状況の両者を合わせた消防活動全体の有効性を表すものとして、“消防活動有効率”を次式のように定義する。

$$R = \left(\frac{R_s}{100} \right) \times \left(\frac{R_k}{100} \right) \times 100 \quad (\%) \quad (9)$$

ここに、 R ：消防活動有効率（％）

R_s ：消防水利有効率（％）〔式(7)〕

R_k ：かけつけ有効率（％）〔式(8)〕

ここに定義した消防活動有効率 R は、その値が 100％になるときのみ対象地域内の任意の点における出火を消火できることを意味している。しかしながら、このような条件を実際に満足する場合はほとんどないといつてよい。そこで、出火点の位置の任意性を考慮して、50％を越える場合には消火可能と判断することにした。

5・3 消防力の二次運用段階の評価方法

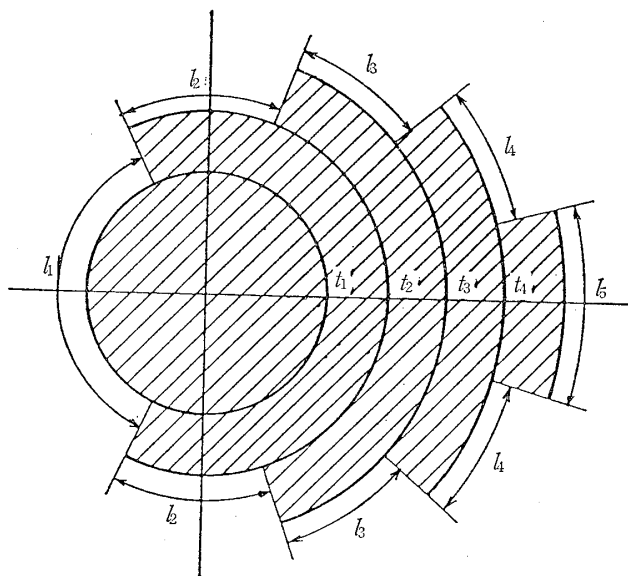
二次運用段階へ移行した初期においては、防御戦術としては一次運用段階と同様に“火面包囲防御”による鎮圧を目的としているが、延焼が拡大して鎮圧をあきらめざるを得ない状況になった時点では、避難者の安全確保を優先目標として避難路に対する“路線防御”や避難場所に対する“拠点防御”を戦術とする段階となる。

これらの防御戦術のうち、路線防御と拠点防御の両者は純粹に火災だけの問題ではなく、地域全体の避難計画などの要因が複雑に関連することになり、現段階ではこれらの事項を含めたモデル化が困難であるので、ここでの検討は火面包囲防御の段階までとした。

二次運用における火面包囲防御が一次運用の場合と異なる点は、それまで消火に当たっていた2隊1組の部隊に対して応援部隊が来る点である。

しかしながら、実際の運用に当っては、消防車の設備数に対して出火点が多い場合には、出動可能な応援部隊が制限され、直ちに理想的な火面包囲防御の体制を取るために必要な数の応援部隊を出動させることができない場合があることを想定し、図-14に示すように、出火点から拡大する火面に対して、時刻 t_i に到着した部隊が担当長 l_i の火面を防御するとし、順次包囲火面を拡大して火災を鎮圧するという考え方を採用した。この考え方による火面包囲防御のモデル化のために、つぎの仮定を置いた。

- ① 延焼は円形に拡大するものとする。



凡例

t_i ： i 番目の消防車の到着

l_i ： i 番目の消防車の担当範囲

▨ 延焼範囲

図-14 消防力の二次運用を考慮した場合の延焼の拡大状況

Fig.14 A way of fire spreading secondary operation of fire fighting resources

- ② 延焼速度は風下方向の速度とする。
- ③ 消防車1台(筒先2口)の担当長を20mとする。
- ④ 消防水利は確保できるものとする。

6 地震火災の予測例

以上述べたように、出火および延焼については、一般によく用いられている方法を利用し、消防活動に関しては、消防庁消防研究所(1986)による地震時における消防活動の基本フレームに基づいて、地震時の状況を考慮した消防力の評価方法を作成した。このような消防活動が行われた場合の地震火災の推移状況の予測を、川崎市に適用した場合についてその概要を述べる。

6・1 地震火災を予測する単位ブロックの設定

過去の大火や地震火災において、しばしば空地や幅の広い道路、河川が延焼を阻止している場合が見られる。このような現象は一般に“焼け止まり”と呼ばれている。消防活動においては、このような“焼け止まり”を利用して火災を効果的に鎮圧しており、火災の予測においても、これらのことを適切に処理することが予測の精度を高め、合理性を持たすことになる。

今までに行われた火災予測においては、処理が容易であることからメッシュを用いている例が多い。この場合に、メッシュが10m~20m程度と充分細かいときには、“焼け止まり”を表現することができると思われるが、標準メッシュ(1km×1km)あるいは1/4標準メッシュ(500m×500m)の場合には“焼け止まり”を充分に表現できないであろう。

一方、このような“焼け止まり”は、市とか町の行政区画の境界となることが多い。そこで、川崎市の場合、延焼を拡大する要因となる木造建物の密集度や連続状態、および延焼を阻止する要因となる空地や耐火構造物群などの焼けどまりの状況を“町丁目”単位に考察して、市域をこれらの要素を考慮した区画に分割した。この区画を“延焼ブロック”と呼び、出火および延焼を予測する単位とした。

建設省(1982)は、過去の例から、延焼阻止の要素として、市街地の尽きたところ(畑地など)、崖、海岸などの自然的焼け止まり、さらに、河川、鉄道、耐火建築物などのような両側を大きく隔てる焼け止まりを挙げている。東京都防災会議(1985)は、延焼力を阻止する要因として、空地、道路、河川、田畑、軌道敷、耐火建築物などを挙げ、市街地のブロック分けに当たっては道路、鉄道については幅員20m以上のもの、空地については一辺

50m以上のものを採用している。このような文献を参考にして、つぎに示すものを焼け止まりとして採用した。

- ① 幅員20m以上の道路、鉄道、河川など。
- ② 一辺50m以上の空地、田畑、公園、学校、グラウンドなど。
- ③ 耐火建築物群(団地など)、大規模工場など。
- ④ その他(浄水場など)。

一方、火災の燃え広がりやすさは木造建築物の量と密度によって大きく影響される。“木造建ぺい率”[=延べ木造建物面積/町丁目面積×100(%)]による地震時の延焼危険度の指標としては、建設省(1975)および建設省告示1766号(1979)に要避難地域指定の一要件として示されている20%以上という値、あるいは川崎市が要避難地域の設定要件に用いている補正木造建ぺい率(2階建木造建築物の延焼危険性を考慮し補正したもの)(橋ほか、1979)の30%以上という値が目安となる。

さらに、建設省総合技術開発プロジェクト(1982)は、都市における延焼遮断効果を定量化するために“不燃領域率”という概念を提案している。すなわち、

$$F = q + \left(1 - \frac{q}{100}\right) f \quad (10)$$

ここに、 F : 不燃領域率

q : 空地率 ($q = \{(M_s + L_s) / T_s\} \times 100(\%)$)

f : 不燃化率 ($f = (B_s / A_s) \times 100(\%)$)

M_s : 短辺あるいは直径40m以上でかつ面積が1,500m²以上の水面、公園、運動場、学校、一団地の施設などの面積

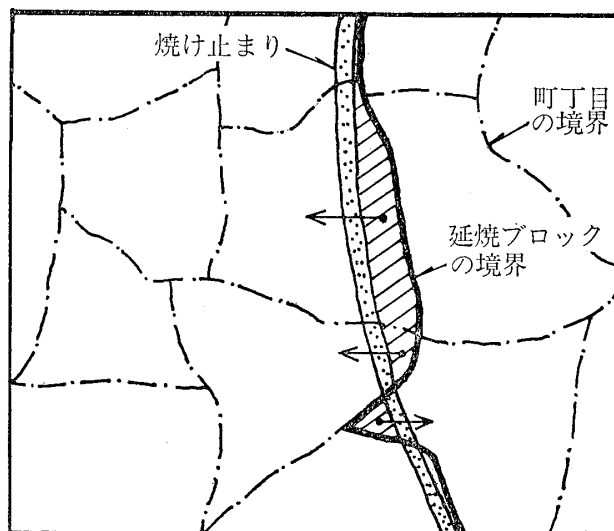


図-15 “延焼ブロック”境界の設定方法

Fig.15 Method for setting up boundary of “fire-spreading-block”

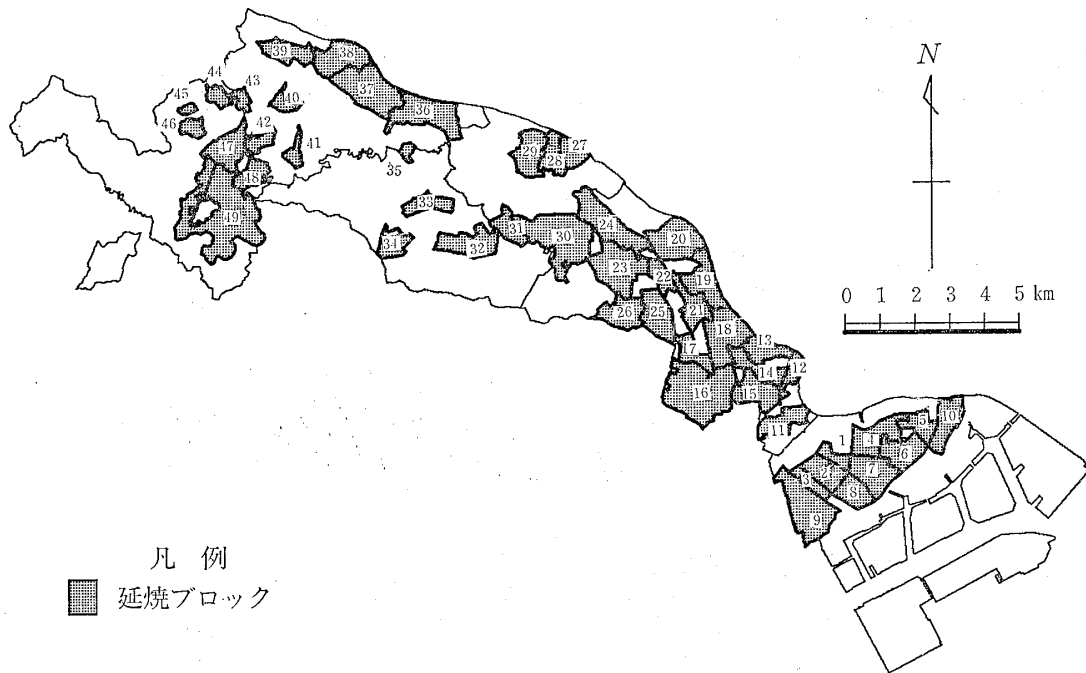


図-16 “延焼ブロック”の分布
Fig.16 Distribution of “fire-spreading-block”

- L_s : 幅員6 m以上の道路面積
 B_s : 耐火造建物建築面積
 A_s : 全建物建築面積
 T_s : 各町丁目の面積あるいは500mメッシュ面積

上記の式によって計算された不燃領域率が70%以上であれば、その地域はほとんど延焼しないという実験結果が得られている。これは、さきに述べた川崎市の補正建ぺい率による検討結果と同じである。

延焼ブロックを設定するために、まず、各町丁目ごとに木造建ぺい率と不燃領域率を求め、木造建ぺい率が10%以上である地域と不燃領域率が70%以下である地域を延焼危険地域として抽出した。つぎに、航空写真などによって木造建築物の連続状況を加えた上、焼け止まり線によってこれらの地域を分割し、木造建物が1,000棟以上となることを目安として、町丁目の集合として延焼ブロックを設定した。なお、図-15に示すように焼け止まり線が町丁目の中を横切っているような場合には、焼け止まり線によって分割された面積の割合などを参考にして、その町丁目が属する延焼ブロックを決定した。このようにして延焼危険地域として設定された延焼ブロックの数は、図-16に示すように、全体で49ブロックとなった。一方、延焼ブロック以外の地域は、出火する可能性はあるが、木造建物の密度が低いために大規模な延焼火災にはならないと予測される地域である。

6・2 地震火災の予測結果

1) 出火件数

マグニチュードが7程度で、東京湾の北部周辺で発生するとする中程度の地震を想定した。

図-16に示した延焼の危険があるとして設定した49の延焼ブロックについて、図-17に示す別途予測した想定地震による木造建物の倒壊率から、河角の出火件数の予測式によって出火件数を求めると、No. 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 21, 25の10個の延焼ブロックにおいて出火があり、延焼ブロック No. 9においては2件の出火があるので、全体で11件の出火が予測された。表-8はこれらの延焼ブロックにおける出火件数と潜在的な焼失棟数を示すとともに、初期消火活動後の消防活動によって火災の状況がどのように変化するかを示したものである。表中の“潜在的な焼失棟数”は、延焼が延焼ブロック全体に拡大したときに焼失すると予測される木造建物の棟数で、神奈川県(1986)に基づいて、町丁目ごとに不燃領域率が0~50%のとき焼失率100%、50~70%のとき50%、70~100%のとき0%として求めたものである。

2) 初期消火活動

このような11件の全出火に対して、住民による初期消火活動が行われるので、初期消火率(震度Vで60%、震度VIで40%、震度VIIで20%)を用いて消火件数を求めると7件となり、4件の炎上出火が発生することになる

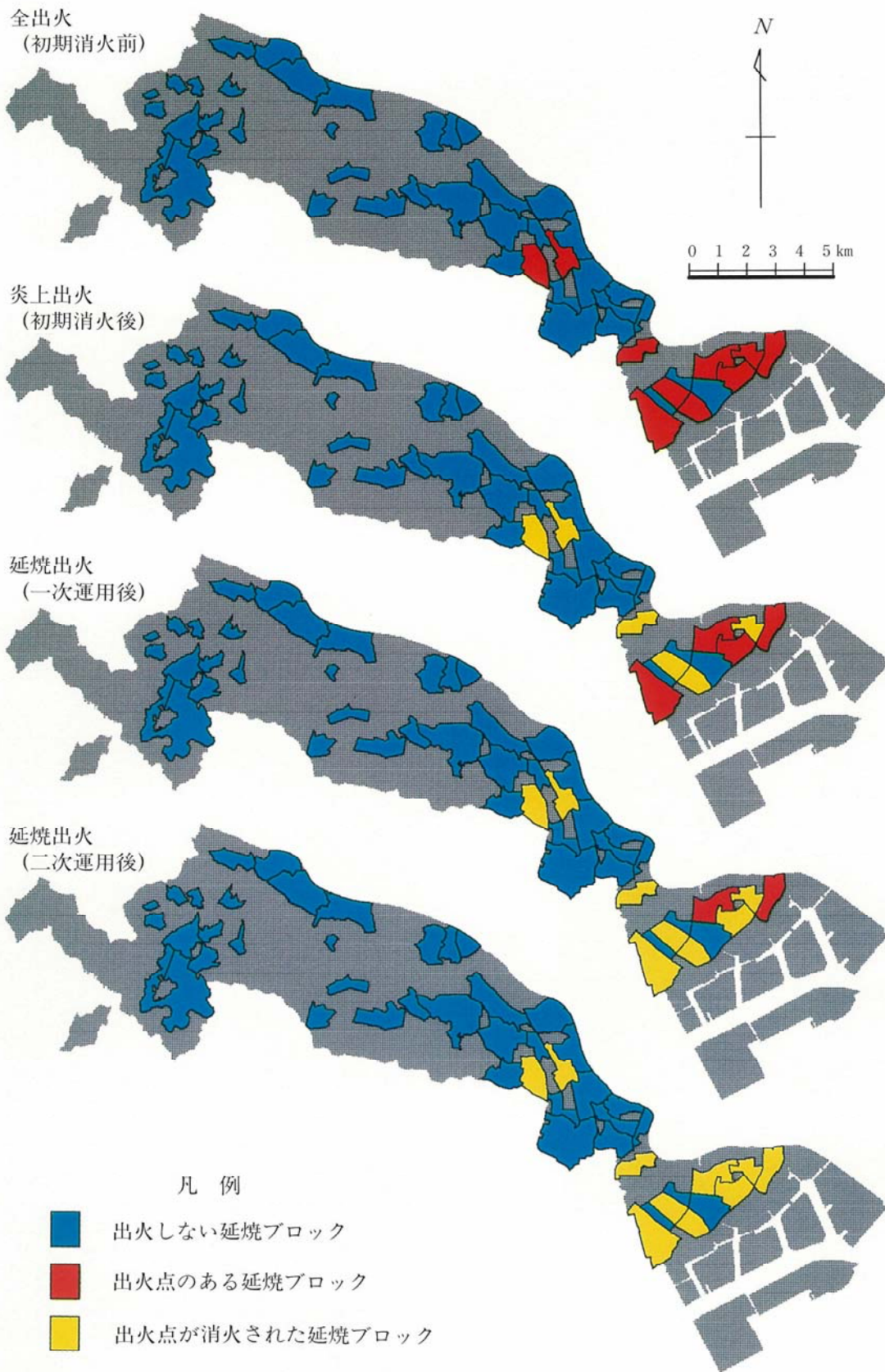


図-19 消防活動による出火点数の変化

Fig.19 Variation of fire number due to fire fighting

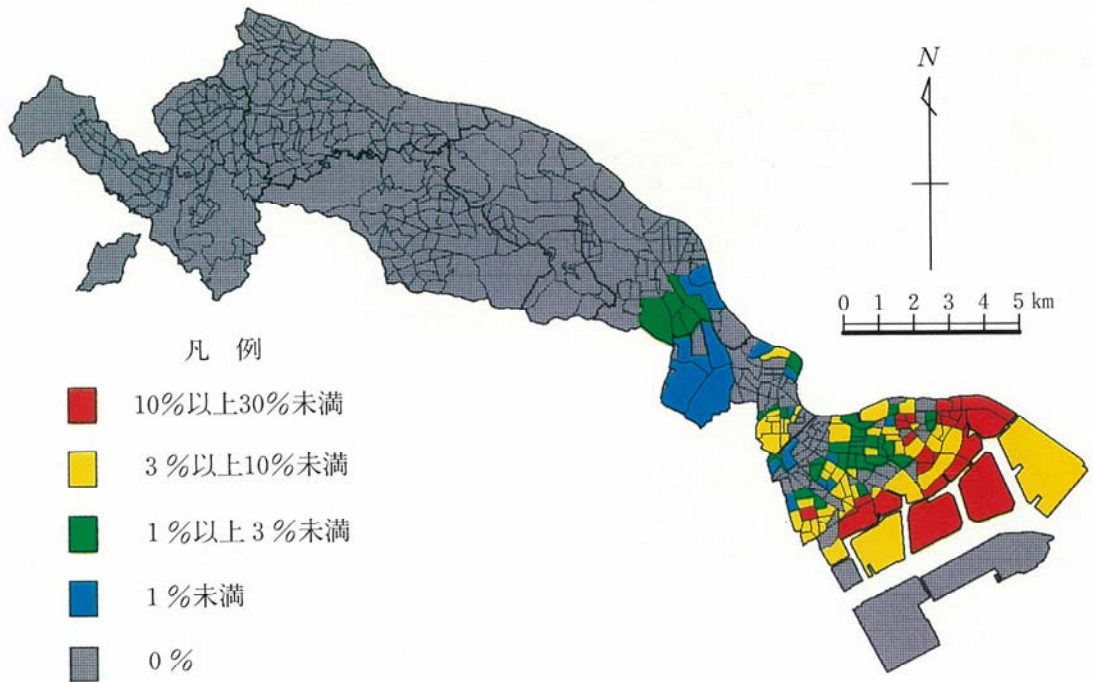


図-17 木造建物の倒壊率分布
Fig.17 Distribution of collapse ratio of wooden house

<延焼ブロックNo. 4>

<延焼ブロックNo. 10>

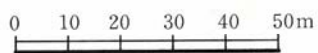
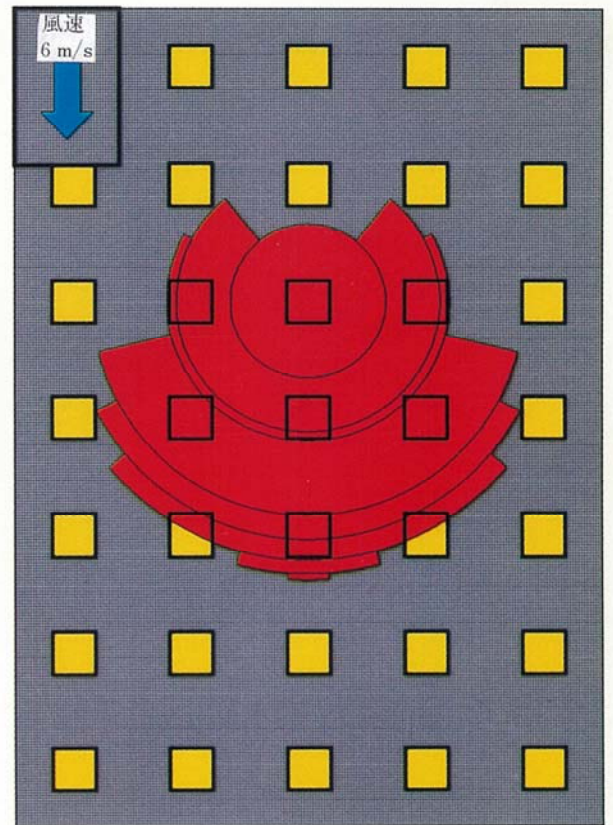
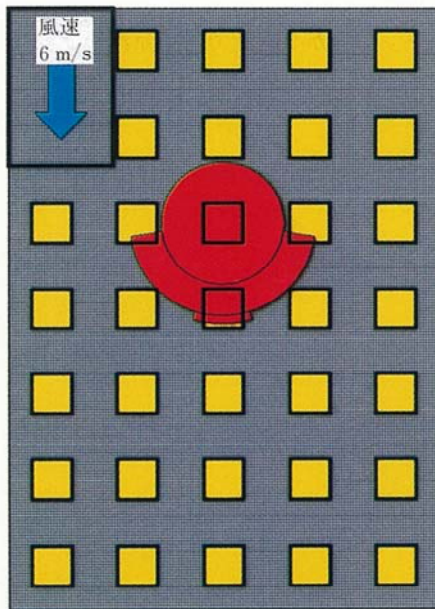


図-18 消防力の二次運用による延焼の鎮圧状況
Fig.18 Extinguishment process of spreading fire by secondary operation of fire fighting resources

が、潜在的な焼失棟数は、約2万4千棟から約1万3千棟に減少し、初期消火活動の重要性がうかがえる。

3) 消防体の一次運用

炎上出火に至った延焼ブロックNo. 4, 6, 9, 10に対しては、火災1件当たり2隊1組の消防力を適用する一次運用の段階になる。この段階における消火可能の判断

表一8 消防力の一次運用の評価

Table 8 Estimation of first operation of fire fighting resources

延焼ブロック			出火件数			
番号	木造棟数	潜在的な焼失棟数*	全出火	炎上出火	延焼出火	
			初期消火前	初期消火後	一次運用後	二次運用後
2	3,206	2,357	1	0	0	0
4	4,150	3,107	1	1	1	0
5	2,061	1,689	1	0	0	0
6	3,427	3,143	1	1	0	0
8	2,519	1,637	1	0	0	0
9	6,992	5,756	2	1	0	0
10	1,671	960	1	1	1	0
11	2,989	1,502	1	0	0	0
21	2,231	1,117	1	0	0	0
25	3,046	2,958	1	0	0	0
計	32,292	24,226	11	4	2	0
各消防段階における潜在的な焼失棟数			24,226	12,966	4,167	0

* 延焼が延焼ブロック全体に拡大したときに焼失すると予測される木造建築物の焼失棟数。

表一9 消防活動による出火点の変化

Table 9 Variation of fire number due to fire fighting

延焼ブロック番号	消防水利有効率 $R_s(\%)$	消防部隊のかけつけ状況		消防活動有効率 $R(\%)$	出動可能な消防部隊数	評価*			消火の判定
		到着順	かけつけ有効率 $R_s((\%))$			消防水利	かけつけ	部隊数	
4	86	1	—	—	—	○	×	—	不可
		2	—	—	—				
6	85	1	75	64	4	○	○	○	可
		2							
9	92	1	100	92	2	○	○	○	可
		2							
10	89	1	89	80	1	○	○	×	不可
		2	11	9	2				

「—」は3棟目に着火するまでに火災現場に到着する部隊がない場合 ($R_k=0$)。

*: ○=充分, ×=不足。

基準としては、2隊の部隊が出火点にかけつけることができ、かつ消防活動有効率（消防水利有効率×かけつけ有効率）が50%以上であることとした。

炎上出火に至った延焼ブロックに対する一次運用の状況は、表一9に示す通りである。いずれの出火点においても、消防水利有効率は高い。

延焼ブロック No. 6 および No. 9 に関しては、出動可能な消防隊数はそれぞれ4隊および2隊であり、消防活動有効率はそれぞれ64%および92%と50%以上であるので、消火可能と判定される。

延焼ブロック No. 4 に関しては、3棟目に着火するまでにかかけつけられる部隊がないので、消火は不可能である。

延焼ブロック No. 10 に関しては、1隊は消防活動有効率が80%であるが、他の2隊は出動可能であるとはいえ、消防活動有効率が9%と極めて小さく、消火不可能と判定した。

以上のように、消防力の一次運用によって、炎上出火4件のうち2件は消火することができ、潜在的焼失棟数は約1万3千棟から約4千棟に減少する。

4) 消防力の二次運用

消防力の一次運用によって消火できなかった延焼ブロック No. 4 と No. 10 に対しては、広域的運用である二次運用が適用される。

二次運用においては、複数の消防部隊の到着時刻とその時点の延焼の拡大状況を考慮するために、出火点を特定し消防署所と出火点の位置を知る必要がある。ここでは、延焼ブロック内で最も出火の確率の高い町丁目の中心に出火点を置いて、二次運用の内容と効果について検討した。その結果は図一18に示すように、延焼ブロック No. 4 では合計5隊の部隊がかけてつけた時点で、No. 10 では13隊がかけてつけた時点で火面を完全に包囲することができ、延焼の拡大を防止できることがわかった。なお、消火までの焼失棟数は、No. 4 で4棟、No. 10 で9棟であった。

5) 消防活動による火災地域の減少状況

以上に述べた消火活動による延焼ブロックの減少過程を経時的に図示すると、図一19のようになる。

7 あとがき

ここに述べた地震火災の予測法は、従来の地震火災予測法を踏襲し、それに地震時における消防活動を考慮したものであり、いくつかの仮定や簡略化を含んでおり、とくに消防活動に関しては、今後慎重に検討すべき点が

多くあることと思われる。ここに、現在考えられる問題点を整理すると下記のようになる。

1) 現在使用されている予測式において仮定している地震と出火の因果関係は、過去の地震火災のデータに基づいている。このような予測式を適用する限りにおいては、都市構造の変化に伴って今後も継続的に見直していく必要がある。

2) 出火点の位置がどこかという問題も消防力の出動を考える場合に重要となる。出火の可能性は火気器具や発火物を使用・保管しているすべての施設が同列に持っているものである。しかしながら、これらのすべての施設から出火した場合について論じることは余りにも現実的でない。これに対して、出火点を1箇所だけ設定し、この場合についていかに詳細な検討を加えても現実性に乏しいものとなるであろう。

この報文では、一次運用を考察する際に、確率論的な取扱いを試みたが、その判断基準とした50%という値の根拠は薄弱である。したがって、出火点の位置の扱い方についての考え方や方法の確立が必要になる。

3) 延焼については、延焼モデルの構成の問題が重要であると考えられる。この報文では、焼け止まりを表現しやすくと考えて、標準メッシュの代わりに町丁目という行政区画を単位として用いた。しかし、10~20mのような非常に細かいメッシュを用いれば、焼け止まりをもっと適切に表現できることが考えられる。ただし、この場合には計算機の容量や計算時間についての問題もあるが、このような細かいメッシュに対応し得るだけの詳細なデータの入手の可能性も問題となる。

この点に関しては、最近一部の地域でデータベース化されている住宅地図やリモートセンシングの分野で最近使用されるようになった分解能が10~20mのような画像データの活用が可能であると思われる。

謝 辞

この報文を執筆するに当たっては、川崎市土木局防災対策室より各種の資料の使用に対するご了解を頂きました。ここに記して、深く感謝の意を表す次第であります。

参 考 文 献

- 浜田 稔(1951): 火災の延焼速度について 火災の研究 第1巻 日本損害保険協会
 浜田 稔(1966): 東京都大震災時避難に関する研究(1)

- 東京都防災会議
- 浜田 稔(1969)：火災(中田金市編) 共立出版(株)
- 浜田 稔(1973)：大震災時焼失範囲の推計に関する調査研究 東京都防災会議
- 浜田 稔(1974)：東京大震災火災への対応一主として現況および将来の避難計画一日本損害保険協会
- 自治省消防庁(1975)：消防力・消防水利の基準解説
- 自治省消防庁(1981)：仙台都市圏防災モデル都市建設計画調査報告書(2)一都市における消防防災活動計画策定に関する調査一(仙台都市圏防災モデル都市建設計画調査委員会)
- 神奈川県(1986)：神奈川県地震被害想定調査報告書
- 建設省(1975)：大都市震災対策施設整備計画作成要領
- 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
- 建設省告示1766号(1979)
- 水野弘之(1978)：地震時出火に関する基礎的研究 京都大学学位論文
- 宮部直己(1969)：川崎市における大地震時の火災について 川崎市の震災予測に関する基礎的調査報告書総括編(川崎市防災会議地震専門部会)
- 大阪市(1971)：大震災被害の検討
- 関沢 愛(1981)：地震時の消防活動有効区域に関する検討一川崎消防署管内におけるケーススタディ一川崎市の震災予防に関する調査報告書(川崎市防災会議地震専門部会)
- 消防庁消防研究所(1986)：地震時における消防力の運用の最適化システムに関する研究開発報告書
- 消防科学総合センター(1983)：地域防災診断ハンドブック(地震災害編)
- 橋 房夫(1980)：火災発生件数の季節指数, その他 川崎市の震災予防に関する調査報告書(川崎市防災会議地震専門部会)
- 橋 房夫, 矢筈野義郎(1979)：市街地の延焼危険度に関する類推計算 川崎市の震災予防に関する調査報告書Ⅱ(川崎市防災会議地震専門部会)
- 東京消防庁(1974)：東京都の地域別延焼危険度と対策について(その1)
- 東京都(1968)：東京都の大震災火災被害の検討(対策に関する資料)
- 東京都防災会議(1985)：多摩地区における地震被害の想定に関する報告書

