

# 都市域における火災対応水利システムの総合評価に関する研究 (2)

—水利の評価手法の提案と横浜市鶴見区での非常時のケーススタディー—

## A STUDY ON THE SYNTHETIC EVALUATION OF THE WATER SUPPLY SYSTEM AGAINST THE RISK OF FIRE IN URBAN AREA, (2)

A proposal of the evaluation methodology for a water supply, and a case study in Tsurumi-ku, Yokohama city.

○川井 正和<sup>1</sup>, 佐土原 聡<sup>2</sup>

Masakazu KAWAI<sup>1</sup> and Satoru SADOHARA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>横浜国立大学 大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Yokohama National Univ.

<sup>2</sup>横浜国立大学 大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Yokohama National Univ.

A basis for fighting fire in this study is to make a synthetic evaluation (considering a base for fighting fire, a water supply system, road network, and a weather condition), against the buildings that have a risk of fire in urban area. After all, making an evaluation methodology for fighting fire as soon as possible. First, the fundamental idea and theory for the evaluation are developed, and the regions are classified by the regional character. Second, the evaluation for a water supply system is simulated in Tsurumi-ku, Yokohama city, as a study area. As a result, the proposal of this model and its reasonableness are proved from actual fire cases as well.

Key Words ; The Water supply system, Dynamic evaluation, Evaluation in road network, A base for fighting fire

### 1. 本研究の位置付けと既往研究

#### 1.1 本研究の目的

近年、建築物の不燃化が急速に進んでいるが、住宅建築では未だ木造建築物が主流を占めているため、一旦地震等の大災害が発生すると大火災になる危険性がある。そこで大切な事は、“どれだけ短時間で火災を鎮圧できるか”、であり、その際、駆けつけるまでにどれだけ火災が燃え広がっていて、どの位の消火用水量が必要なのか、それに対して供給水量が満足しているかなどをシステムの的に捉える必要がある。

本研究の特徴は、火災現場の建物状況及び消防拠点、水利システム、それらを結ぶ道路網と気象条件を踏まえた、非常時における水利の総合的評価を行うことである(図-1)。消防水利、消防署所の位置及び道路網から、消防用水を持って到着する火災現場までの、“所要時間”を割り出す。そして建物の構造種別や隣棟間隔を考慮して、火災が拡大して行く速度から、延焼中の延焼床面積と放水量の関係をも動的解析によって求め、火災対応水利システムの評価手法を構築し提案するのが本研究の目的である。

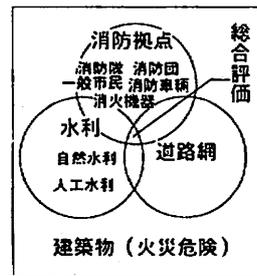


図-1 水利システムの概念図

### 2. 本研究の方針

本研究は、水利システム総合評価手法の理論構築を行った後、横浜市鶴見区を対象エリアとして具体的に適用した。まず、非常時におけるパラメータとして、阪神淡路大震災の災害事例から道路閉塞を採り上げて、それを検討の上、鶴見区に適用する。そして、道路閉塞場所を特定した上で、風速毎に複数採り挙げて、シミュレーションで総合的な火災対応の、水利評価のケーススタディを行った。

### 3. 水利システム総合評価の理論

#### 3.1 基本的な考え方

水利システム評価のシミュレーションでは、火災発生から消火活動終了にいたるまでを時系列的に解析する。まず、消防署所団が水利を持って火災現場に駆けつける最短ルートから、距離と所要時間を求める。次に、東京消防庁の速度式を用いて延焼速度を求め、延焼面積を求めるベースとした。さらに延焼床面積を求めて、放水量、放水効果そして出火からの時間(分)、の関係から、動的解析手法を構築する。

#### 3.2 消防署所団から出火点迄の所要時間

・所要時間(分)、 $T_1$ は、

$$T_1 = t_1 + \sum_{i=1}^n L_i / V_i \quad (1)$$

で算定する。

但し、 $T_1$  ; 消防署所団から出火点までの最短時間(分)

$i$  ; 消防署所団から出火点までの道路幅員別の数、 $L_i$  ; 消防署所団から出火点までの最短距離に占めるある幅員のルート長さ(m)、 $V_i$  ; 消防署所団から出火点まである幅員の走行平均速度(m/分)、 $t_1$  ; 一定時間<sup>1)</sup>「通報2.5・出動0.5・放水準備1.5の合計4.5」(分)、最短距離とは消防署所団が、通行障害をクリアしながら、消防水利をもって出火点に最短時間で辿りつくコース。

#### 3.3 延焼速度の計算

出火後の経過時間における、延焼速度計算式は、文献<sup>2)</sup>の東京消防庁の式を用いた。なお、(2-1)~(2-3)、(3-1)~(3-3)、は文献<sup>3)</sup>を引用した。

・延焼距離(m)、風下側、風上側、風横側、 $L$ は、

$$L_{下} = \delta_{下} \times r(\nu) \times g(h) \times T \times (1-c') \quad (2-1)$$

$$L_{上} = \delta_{上} \times r(\nu) \times g(h) \times T \times (1-c') \quad (2-2)$$

$$L_{側} = \delta_{側} \times r(\nu) \times g(h) \times T \times (1-c') \quad (2-3)$$

で求まる。ただし、 $r(\nu)$  ; 風速補正係数=0.048 $\nu$ +0.822、 $\nu$  ; 風速(m/秒)、 $g(h)$  ; 湿度補正係数=-0.005 $h$ +1.371、 $h$  ; 湿度(%),  $T$  ; 出火後の経過時分(分)、 $c'$  ; 耐火造混成比(0~1の間)、

・ $\delta$  ; 本延焼速度(m/分)で風下側・風上側・風横側

$$\delta = \{L_{11} \times (a' \times V_{w1} + b' \times V_{w2} / (a' \times V_{w1} + b' \times V_{w2}))\} / (L_{11} + L_{12}) \quad (3-1)$$

$$\delta_{上} = (L_{eq} \times (a' \times V_{下} + b' \times V_{上}) + (L_b \times V_{上})) / (L_{eq} + L_b) \quad (3-2)$$

$$\delta_{側} = (L_{eq} \times (a' \times V_{下} + b' \times V_{側}) + (L_b \times V_{側})) / (L_{eq} + L_b) \quad (3-3)$$

で求まる。ただし、 $L_{eq}$ ; 建物一辺の長さ(m)、 $L_b$ ; 建物の隣棟間隔(全ての建物;m)、 $V_{下}$ ; 風下側の隣棟へ燃える延焼速度 0.45 (m/分)、 $V_{上}$ ; 風上側の隣棟へ燃える延焼速度 0.33 (m/分)、 $V_{側}$ ; 風横側の隣棟へ燃える延焼速度 0.38 (m/分)、 $V_w$ ; 裸木造建物延焼速度 0.87 (m/分)、 $V_m$ ; 防火木造建物延焼速度 0.71 (m/分)、

建物構成比[0~1の間](裸木造・防火木造・耐火造)、 $a'$ 、 $b'$ 、 $c'$ は、文献<sup>11</sup>の建設省の可燃物量比を参考に、次の手順で導いていく。数値の修正を、次式を用いて行うのは、市街地における建築物の構造種別による混成比率を算定する場合、その尺度の単位を棟数、または、面積の比率をそのまま用いることが、実態を反映しないと考えたからである。木造、非木造自身が各々持っている“もえぐさ”の量を反映する形で修正を行っている。

$a'$ 、 $b'$ 、 $c'$ は次のようにして求まる。

・裸木造の混成比、 $a'$ は

$$a' = (Aw' / (Aw' + Awa' + Afpb')) \quad (4)$$

・防火木造の混成比、 $b'$ は、

$$b' = (Awa' / (Aw' + Awa' + Afpb')) \quad (5)$$

・耐火・準耐火の混成比、 $c'$ は

$$c' = (Afpb' / (Aw' + Awa' + Afpb')) \quad (6)$$

で求まる。ただし、

・修正裸木造建築面積( $m^2$ )、 $Aw'$ は

$$Aw' = Aw \times Rwc \quad (7)$$

で求まる。ただし、 $Aw$ ; 裸木造建築面積( $m^2$ )、

・修正防火木造建築面積( $m^2$ )、 $Awa'$ は

$$Awa' = Awa \times Rwc \quad (8)$$

ただし、 $Awa$ ; 防火木造建築面積( $m^2$ )

・木造相当に修正した、耐火・準耐火建築面積( $m^2$ )、 $Afpb'$ は

$$Afpb' = Afpb \times Rpb \quad (9)$$

ただし、 $Afpb$ ; 耐火・準耐火建築面積( $m^2$ )、

$Rwc$ ; 木造可燃物量比(1.0)、

$Rpb$ ; 耐火・準耐火建築物の可燃物量比(0.542)

### 3.4 延焼面積、延焼床面積の算定法

・延焼面積、 $Af$ は、

$$Af = \pi \times L_{側} \times (L_{下} + L_{上}) / 2 \quad (10)$$

で求まる。ただし、 $L_{側}$ ; 風横側の延焼距離(m)、 $L_{下}$ ;

風下側の延焼距離(m)、 $L_{上}$ ; 風上側の延焼距離(m)

・エリア内の延焼床面積、 $Aff$ は

$$Aff = Af \times Vgr \quad (11)$$

で求まる。ただし、 $Af$ ; 延焼面積( $m^2$ )、 $Vgr$ ; グロス容積率(%)、グロス容積率  $Vgr$ とは「エリア内床面積合計/エリア内全土地面積」である。

### 3.5 放水量と放水効果の基本的考え

・放水量( $m^3$ )、 $W_k$ は、

$$W_k = \sum_{i=1}^k a_k \quad (12)$$

で求まる。ただし、 $a_k$ ;  $k$ によって決まる単位時間の放水量( $m^3$ /分)、 $k$ ; 時間(分)

・単位時間の放水効果( $m^2$ )は、 $Awe_k$ は、

$$Awe_k = \alpha \times a_k \quad (13)$$

で求まる。ただし、 $\alpha$ ; 放水量  $1.00m^3$ 当たりの延焼中の床面積に対する火災の鎮圧面積を示す。

### 3.6 動的評価手法

放水できなかつた(以下自然増という)場合の延焼床面積と、放水効果による延焼床面積の関係を、時系列的

に評価しようとするのが図-2である。延焼勾配は自然増を用いる考えもあるが、本稿では、 $(k-\lambda)$ 分に駆けつけて放水した結果、一旦消した火種は、その後二度と成長しないことを前提とし、且つ、その後の成長面積に、積算的に効いてくるとして計算した。火災発生後、初期消火の秒単位時間が大切なことから、放水開始時( $k-\lambda$ )分を秒単位まで求めた結果、端数が生じるので、きりをよくするために、 $k$ 分を基準とし、次の切りよい分までの端数分を $\lambda$ ( $\lambda < 1$ )分とした。以下、その手法を述べる。

$$Aff(k) = Aff(k') - Awe_k \quad (14)$$

で求まる。ただし、 $Aff(k')$ ; 出火  $k$ 分後における自然増加した場合の延焼床面積( $m^2$ )、 $Awe_k$ ; 放水開始後  $(k-\lambda)$ 分に投入した放水効果( $m^2$ )、

・ $k$ から1分後、出火( $k+1$ )分後、の延焼床面積( $m^2$ )、 $Aff(k+1)$ は

$$Aff(k+1) = Aff(k) + (Aff(k) - Aff(k-1)) - Awe_{k+1} \quad (15)$$

で求まる。ただし、 $Aff(k)$ ; 出火後  $(k-1)$ 分後から  $k$ 分後の1分間における延焼勾配であり、出火後  $k$ 分後~ $(k+1)$ 分後において成長する延焼勾配ともなる。

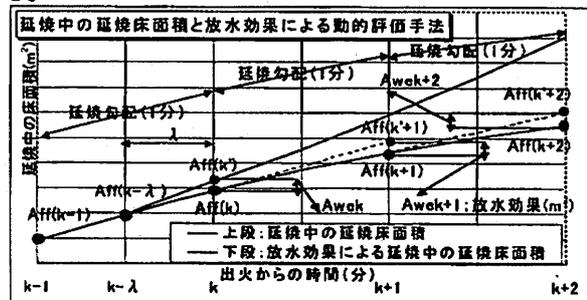


図-2 動的評価手法の概略

・ $k$ から2分後、 $(k+2)$ 分後、の延焼床面積( $m^2$ )、 $Aff(k+2)$ は

$$Aff(k+2) = Aff(k+1) + (Aff(k+1) - Aff(k)) - Awe_{k+2} \quad (16)$$

で、以上が動的評価の概要。

### 4. ケーススタディ対象地区

本稿では図-3に示す横浜市全域の内、黒塗り部分の四角な枠の範囲をケーススタディの対象とした。鶴見区は表-1示す様に建築床面積  $1ha$  当たりの水利量が  $5.26$ 個(平均値は  $5.99$ 個)であり、ほぼ平均的な値を示す。また、道路特性から見ても平均的な位置付けにある。

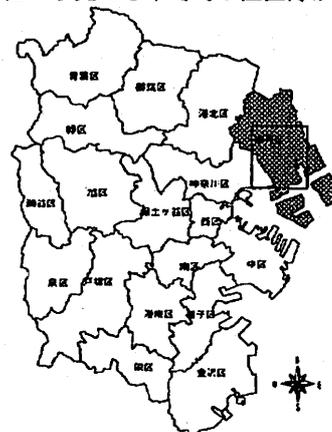


図-3 横浜市全域図

表-1 区別毎の地域特性一覧表

区別	道路平均幅員 (m)	可燃物量比後の木造相当修正床面積+純木造床面積	建築床面積 1ha当たりの水利量 (個数)	可燃物量比後の木造相当修正棟数+純木造棟数	建築棟数 100棟当たりの水利量 (個数)
横浜全市	(m)	97,858,340		632,220	
鶴見区	6.159	9,155,314	5.26	46,705	10.31
神奈川区	5.751	6,406,480	5.75	39,418	9.34
西区	7.625	3,785,057	4.26	14,786	10.90
中区	7.690	5,921,786	5.67	22,250	15.09
南区	5.786	4,939,442	5.37	38,466	6.90
港南区	6.019	5,312,386	5.17	37,634	7.30
保土ヶ谷区	5.337	5,026,271	5.58	38,192	7.35
旭区	5.483	6,237,093	5.67	50,721	6.97
磯子区	6.080	4,589,002	6.02	28,389	9.73
金沢区	6.341	6,228,060	5.24	38,292	8.53
港北区	5.709	8,522,699	4.35	53,523	6.93
緑区	5.082	3,607,964	6.61	25,317	9.42
青葉区	7.060	6,943,133	6.98	43,760	11.08
都筑区	6.260	4,309,972	12.00	23,113	22.37
戸塚区	5.400	6,877,014	5.53	46,530	8.17
栄区	5.437	3,247,125	5.10	24,861	6.66
泉区	4.869	3,710,332	6.85	33,935	7.49
瀬谷区	5.203	3,039,210	6.45	26,327	7.44
平均	5.961		5.99		9.55

注1) 道路関係に用いた数値は、統計データから特異な有料道路・港湾に位置する工業地帯を削除したものである。  
 注2) 可燃物量比による修正値とは、木造・耐火・準耐火が混在する建築物の床面積・棟数について、可燃物量比(耐火・準耐火建物の木造建物に対する可燃物量の比)によって、木造相当の数値に、各々修正して床面積・棟数を算定したものである。

5. 鶴見区の類型化

類型化で 500m メッシュ単位として取り扱った理由は、地区特性が失われず且つ、能率的に類型化ができる最大限の単位として適しているからである。図-6 は、木造の密集度、水利の量、道路状況等の特性を 250m メッシュ単位で分析し、それぞれを平均化したものを 500m メッシュ単位で類型化したもので、X 軸は平均道路幅員、Y 軸は建築面積当たりの水量を示している。

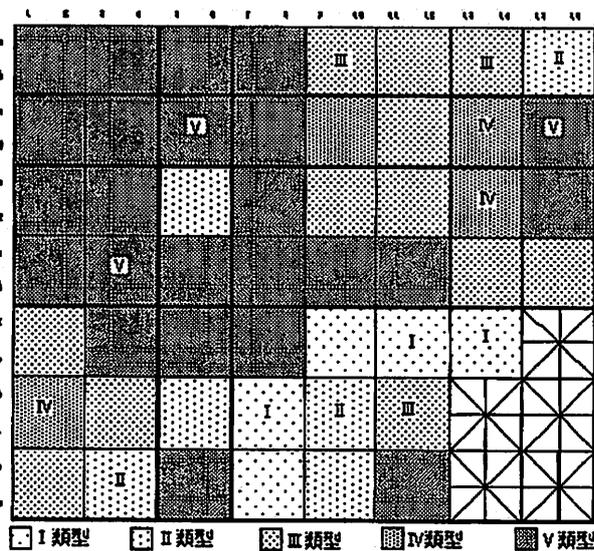


図-4 類型化の分布図 (太枠: 500m、メッシュを示す)

6. 非常時のケーススタディ

6.1 道路閉塞の基本的な考え方

非常時における評価要素は、阪神・淡路大震災における長田区の道路閉塞率(表-2)を参考にして、鶴見区のケーススタディに用いた。長田区を選んだ根拠は、長田区の道路リンク数図-5と鶴見区のリンク数図-6、とを比較すると、概ねその道路特性が類似しているため用いたものである。

表-2 地震と道路閉塞の関係

地震の概要		道路閉塞率	
		道路幅員(m)	閉塞率(%)
震源地	淡路島	0~4	85
震源の深さ	14Km	4~6	25
マグチュード	7.2	6~8	20
震度	震源地; 7	8~12	5
	神戸市; 6	12~18	0
		18~	0

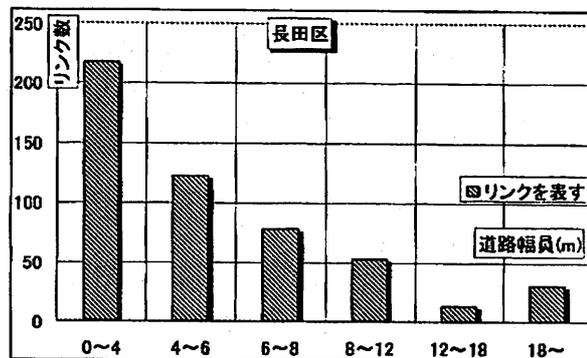


図-5 長田区における道路幅員別、リンク数の状況

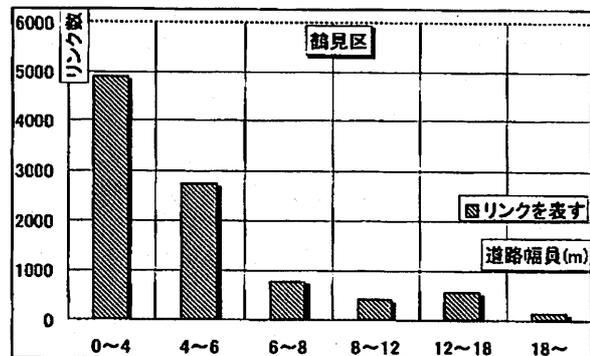


図-6 鶴見区における道路幅員別、リンク数の状況

6-2 閉塞場所の特定

道路閉塞場所の特定方法については、類型ごとに乱数を発生させて仮定する方式を採った。図-7~図-16では、類型別に閉塞を除き実際に通行可能道路と、全ての道路を対比して表した。

7. シミュレーションの解析結果

以上の計算方法で解析を行なった結果を、表3~表5に纏めた。紙面上、平常時と非常時(類型毎に、風速; 4m, 15m, のみとした)における火災対応評価の結果と、非常時に対する、平常時から見た倍率を示し、両者を比較した事により、平常時の段階で、災害時の対応を可能にした。

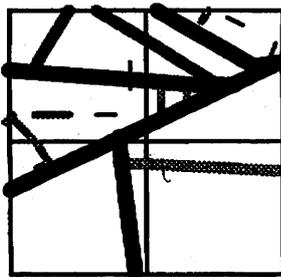


図-7 閉塞を除外した道路

I 類型の道路状況



図-8 全道路

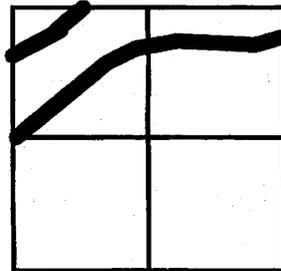


図-9 閉塞を除外した道路

II 類型の道路状況

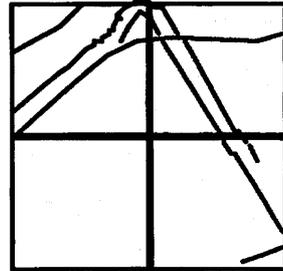


図-10 全道路

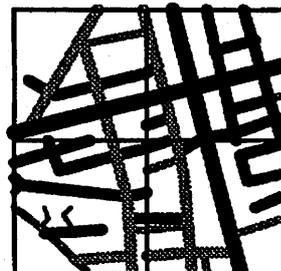


図-11 閉塞を除外した道路

III 類型の道路状況

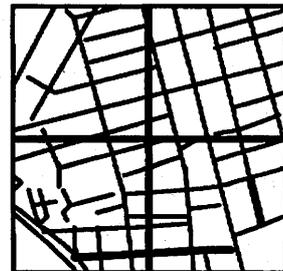


図-12 全道路

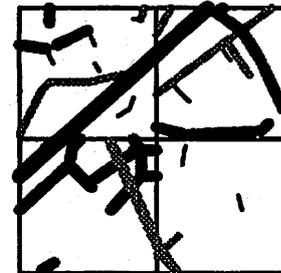


図-13 閉塞を除外した道路

IV 類型の道路状況



図-14 全道路

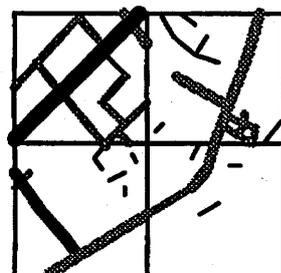


図-15 閉塞を除外した道路

V 類型の道路状況

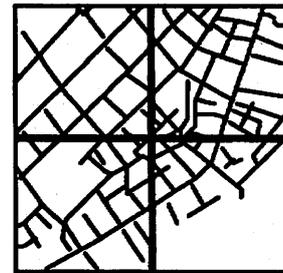


図-16 全道路

表-3 平常時と非常時の火災対応評価の比較

評価要素	放水開始時間	放水開始延焼床面積	延焼防止時床面積	延焼時間	延焼速度	放水量	放水時間	放水量	成長面積	成長面積率
	分	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	分	m <sup>2</sup> /分	m <sup>3</sup>	分	m <sup>3</sup> /分	m <sup>2</sup>	%
平常時：風速4mの場合：火災を鎮圧した場合の積算値										
全延焼床面積による値									成長面積	
I 類型	8.3	1.5	1.9	14.0	0.1	3.3	6.7	0.5	0.4	24.5
II 類型	9.9	3.4	3.6	15.0	0.2	5.1	5.1	1.0	0.2	6.7
III 類型	7.5	15.2	21.3	18.0	1.2	20.0	10.5	1.9	6.1	40.4
IV 類型	6.6	24.3	41.7	20.0	2.1	33.9	13.4	2.5	17.4	71.5
V 類型	7.3	40.0	76.0	24.0	3.2	50.2	16.7	3.0	35.9	89.8
平均	7.9	16.9	28.9	18.2	1.4	22.5	10.5	1.8	12.0	46.6
非常時：風速4mの場合：火災を鎮圧した場合の積算値										
全延焼床面積による値									成長面積	
I 類型	17.8	7.0	7.1	23.0	0.3	5.2	1.0	0.1	0.9	
II 類型	20.8	14.9	15.0	27.0	0.6	10.5	6.3	1.7	0.1	0.7
III 類型	13.8	51.1	52.3	24.0	2.2	25.6	10.2	2.5	1.2	2.3
IV 類型	14.6	119.9	162.3	33.0	4.9	77.6	18.4	4.2	42.5	35.4
V 類型	14.3	155.5	228.0	35.0	6.5	103.4	20.7	5.0	72.5	46.6
平均	16.3	69.7	92.9	28.4	2.9	44.5	12.2	2.9	23.2	17.2
風速4mの場合（値は全て平常時から見た場合の倍率である）										
I 類型	2.1	4.6	3.7	1.6	2.3	1.6	0.8	2.0	0.2	0.0
II 類型	2.1	4.4	4.1	1.8	2.3	2.1	1.2	1.7	0.4	0.1
III 類型	1.8	3.4	2.5	1.3	1.8	1.3	1.0	1.3	0.2	0.1
IV 類型	2.2	4.9	3.9	1.7	2.4	2.3	1.4	1.7	2.4	0.5
V 類型	2.0	3.9	3.0	1.5	2.1	2.1	1.2	1.7	2.0	0.5
平均	2.1	4.1	3.2	1.6	2.1	2.0	1.2	1.6	1.9	0.4
平常時：風速15mの場合：火災を鎮圧した場合の積算値										
全延焼床面積による値									成長面積	
I 類型	8.3	3.5	4.8	15.0	0.3	7.7	7.7	1.0	1.2	0.3
II 類型	9.9	7.9	9.4	17.0	0.6	10.1	7.1	1.4	1.5	18.8
III 類型	7.5	35.1	59.4	23.0	2.6	42.4	15.5	2.7	24.3	69.3
IV 類型	6.6	56.2	125.2	27.0	4.6	73.3	20.4	3.6	69.1	123.0
V 類型	7.3	92.6	221.0	30.0	7.4	111.9	22.7	4.9	128.5	138.8
平均	7.9	39.0	83.8	22.4	3.1	49.1	14.7	2.7	44.9	70.0
非常時：風速15mの場合：火災を鎮圧した場合の積算値										
全延焼床面積による値									成長面積	
I 類型	17.8	16.2	16.4	24.0	0.7	10.4	6.2	1.7	0.2	1.2
II 類型	20.8	34.4	34.8	29.0	1.2	17.8	8.3	2.2	0.4	1.3
III 類型	13.8	118.2	122.8	27.0	4.5	46.8	13.2	3.5	4.6	3.9
IV 類型	14.6	277.2	434.4	40.0	10.9	168.9	25.4	6.6	157.1	56.7
V 類型	14.3	359.6	628.8	43.0	14.6	225.4	28.7	7.9	269.3	74.9
平均	16.3	161.1	247.4	32.6	6.4	93.9	16.4	4.4	86.3	27.6
風速15mの場合（値は全て平常時から見た場合の倍率である）										
I 類型	2.1	4.6	3.4	1.6	2.2	1.4	0.8	1.7	0.2	3.5
II 類型	2.1	4.4	3.7	1.7	2.2	1.8	1.2	1.5	0.3	0.1
III 類型	1.8	3.4	2.1	1.2	1.8	1.1	0.9	1.3	0.2	0.1
IV 類型	2.2	4.9	3.5	1.5	2.3	2.3	1.2	1.9	2.3	0.5
V 類型	2.0	3.9	2.8	1.4	2.0	2.0	1.3	1.6	2.1	0.5
平均	2.1	4.1	2.9	1.5	2.1	1.9	1.1	1.6	1.9	0.4
災害事例：東京都消防庁（答申）1986年11月、横浜消防局1999年度、それぞれの資料										
東京都	10.2	183.8	266.0	53.8	5.2	101.4	43.6	2.3	82.2	44.7
横浜市	4.0		21.4			8.8				

8. 結論と展望

8-1 本研究成果のまとめ

- (1) この評価手法は“リアルタイムで評価”できる。
- (2) 特性を“総合的に評価する手法を提案”できた。
- (3) 総合的定量的に評価して比較した。
- (4) モデルの妥当性を確認した。
- (5) 何処に力を入れるべきか、を考察が可能になった。
- (6) 平常時の段階で非常時の対応を可能にした。

8-2 展望

今後は、災害の評価要素について、感度分析を採り入れて総合評価とする予定である。

参考文献

- 1) 家田仁・上西周子・猪股隆行・鈴木忠徳；阪神・淡路大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能的障害とその影響、土木学会論文集、No576/IV-37、69-82、1997.10。