

第 3 章 消防力配置の評価・算定手法

第3章 消防力配置の評価・算定手法

3.1 消防力配置の評価指標

消防力の位置や配置を評価・検討するためには、比較するための指標を定めておく必要がある。

指標として考えられるものに、例えば、署所からある一定範囲内の人口比率、火災や救急に対する消防隊や救急隊の走行時間などが考えられる。

どのような評価指標を用いるかは、配置の対象とするものが消防署所か、ポンプ車、救急車かなどによって異なってくる。

本調査では、以下に示す評価の指標を用いることにする。

3.1.1 署所及び屯所位置の評価指標

消防署所は災害に対する警防活動の拠点である。また「消防力の基準」にみられるように、必要な署所数や位置などを検討する場合は、建物火災に重点を置くのが一般的である。

建物火災の発生をもとに署所位置を検討するには、各地区の建物火災の発生頻度が必要になる。

本調査の目的からすると、将来の各地区の建物火災の発生頻度を予測して用いることが望ましい。しかし、将来の人口予測も困難な現状では、将来の火災件数を予測することは不可能に近いといえる。

従って、本調査では、建物火災の発生は、世帯数に比例するものと考え、第2章に示した各地区の世帯数分布を、将来的な火災発生頻度として走行時間や比率の計算を行う。

屯所位置についても、同様の評価指標を用いることとする。ただし、署所と比べて屯所は消防団員が参集するための時間必要であり、両者の比較には充分注意する必要がある。

3.1.2 消防隊（ポンプ車）配置の評価指標

ポンプ車は管内で発生する全ての火災に出動するが、緊急性を要すること、出動頻度が高いことから、火災の中でも特に建物火災を前提として配置を考えることが適切である。

建物火災では、最先着消防隊がいかに早く到着できるかが重要な要素になる。最先着隊は、火元建物の構造を問わず、消火よりも人命検索・救助にあたることが最優先とされるからである。

また、火災初期における防ぎよ活動は、任務を与えられた何隊かで連携して行うこともあることから、第2着以降の消防隊の走行時間も最先着隊に劣らず重要になる。

ポンプ車の配置を考える場合、どの消防署所にもポンプ車は1台以上配置されているので、最先着隊の走行時間は署所の配置によって決まってくる。そこで、特に緊急を要する何隊かの消防隊が建物火災に到着するまでの時間を評価指標として用いることにする。

建物火災の発生は、署所の評価指標と同様に、世帯数に比例するものと考え、第2章に示した各地区の世帯数分布を、将来的な火災発生頻度として走行時間や比率の計算を行う。

3.1.3 救急隊（救急車）配置の評価指標

救急隊は、火災や救助などにも出動するが、圧倒的に多いのは一般の救急事案であり、1件の救急事案に対し1隊（救急車1台）が対応することとして配置を考えることが適切である。

救急車は、現場へ出動して搬送者を早く病院へ届けることが重要だが、現場から病院への搬送時間は救急病院の配置で決まるもので、救急車の配置には依存しない。

救急車の配置を考えることで変化するのは現場への到着までである。したがって、現場到着までの時間を評価指標として用いることにする。

また、救急事案発生件数は非常に多く、常に発生地点の直近の署所から出動できるとは限らないので、2番目あるいは3番目の署所から出動する可能性も考慮して走行時間を計算する。なお、実際には出動した救急隊が帰署する途中で再び出動することもあるが、これについては考慮していない。

救急については、第2章に示されている過去3年間の平均発生件数をもとにして走行時間や比率の計算を行う。

3.2 評価指標の算定方法

3.1 で述べた消防力の評価指標を実際に計算するための方法を以下に示す。計算の方法は対象とする消防車両によって2つに分けられる。なお、どちらの方法も「加重平均」を求めており、地域的な火災等の発生分布をもとに消防力の配置を求めるには適当な方法である。

1つは消防署所、消防車（ポンプ隊）の評価指標を算定する方法、もう1つは救急車（救急隊）を算定する方法である。

この違いは、救急車（救急隊）については、出動の対象となる救急事案発生件数が非常に多く、常に発生地点の直近の署所から出動できるとは限らないため、2番目あるいは3番目の署所から出動する可能性も考慮している点である。その他の車両については、原則的に出動現場から最も近い署所から消防車両が出動するものと考え、火災等が同時多発することは考慮していない。

また、消防署所の計算にあたっては、「対象とする災害が消防車（ポンプ隊）と同じ建物火災である」こと、「各署所に1台以上の消防車（ポンプ隊）がある」ことから、最先着消防車（ポンプ隊）の走行時間算定と同じことである。

3.2.1 消防署所、消防屯所及び消防車の走行時間

消防署所、消防屯所及び消防車の平均走行時間は次のように計算する。各メッシュで、火災等が発生したときの走行時間に、そのメッシュの火災等の発生頻度をウェイトとして掛け、地域内の全てのメッシュについて合計する。これを計算しようとする地域全体の火災等の予想発生件数で割ったものが平均走行時間である。式で表すと、次のようになる。

$$Z_p^{(1)} = \frac{\sum F_i r_{ik}}{\sum F_i} \quad (\text{式3.2.1})$$

ただし、

$Z_p^{(1)}$: 消防車両の平均走行時間

F_i : メッシュ i の火災等の発生頻度

r_{ik} : メッシュ i で発生した火災等に対する第 k 着隊の走行時間

であり、 Σ は対象とする全てのメッシュについての合計を意味する。 $k=1$ ならば最先着隊の平均走行時間、 $k=2$ ならば第2着隊の平均走行時間となる。

また、一定時間内に到着できる火災等の比率も、各メッシュの走行時間と火災等の発生頻度から、次式により計算できる。

$$Z_p^{(2)} = \frac{\sum F_i \Delta_i}{\sum F_i} \quad (\text{式3.2.2})$$

ここで、

$$\Delta_i = \begin{cases} 1 & (r_{ik} \leq n \text{分}) \\ 0 & (r_{ik} > n \text{分}) \end{cases}$$

である。ただし、 $Z_p^{(2)}$ は消防車両の走行時間がn分以内となる火災の比率であり、他の記号は(式3.2.1)と同様である。

各要素の計算方法は次のとおりである。

① 消防車両の走行時間

あるメッシュで火災等が発生したとき、消防車両の走行時間 r_{ik} は、第2章で示した道路ネットワークデータをもとに計算する。具体的には、メッシュ i について、全ての署所から消防隊がネットワークの最短経路を通過してその中心まで走行するときの時間を計算し、最も速いものを最先着隊($k=1$)、2番目を第2着隊($k=2$)、・・・とする。走行速度は、ネットワーク上を走行するときは時速40km/h、ネットワークからはずれて各メッシュの中心まで走行するときは15km/hとしている。

② 火災等の発生頻度

火災等の発生頻度であるウエイト F_i は第2章に示した世帯数分布とする。

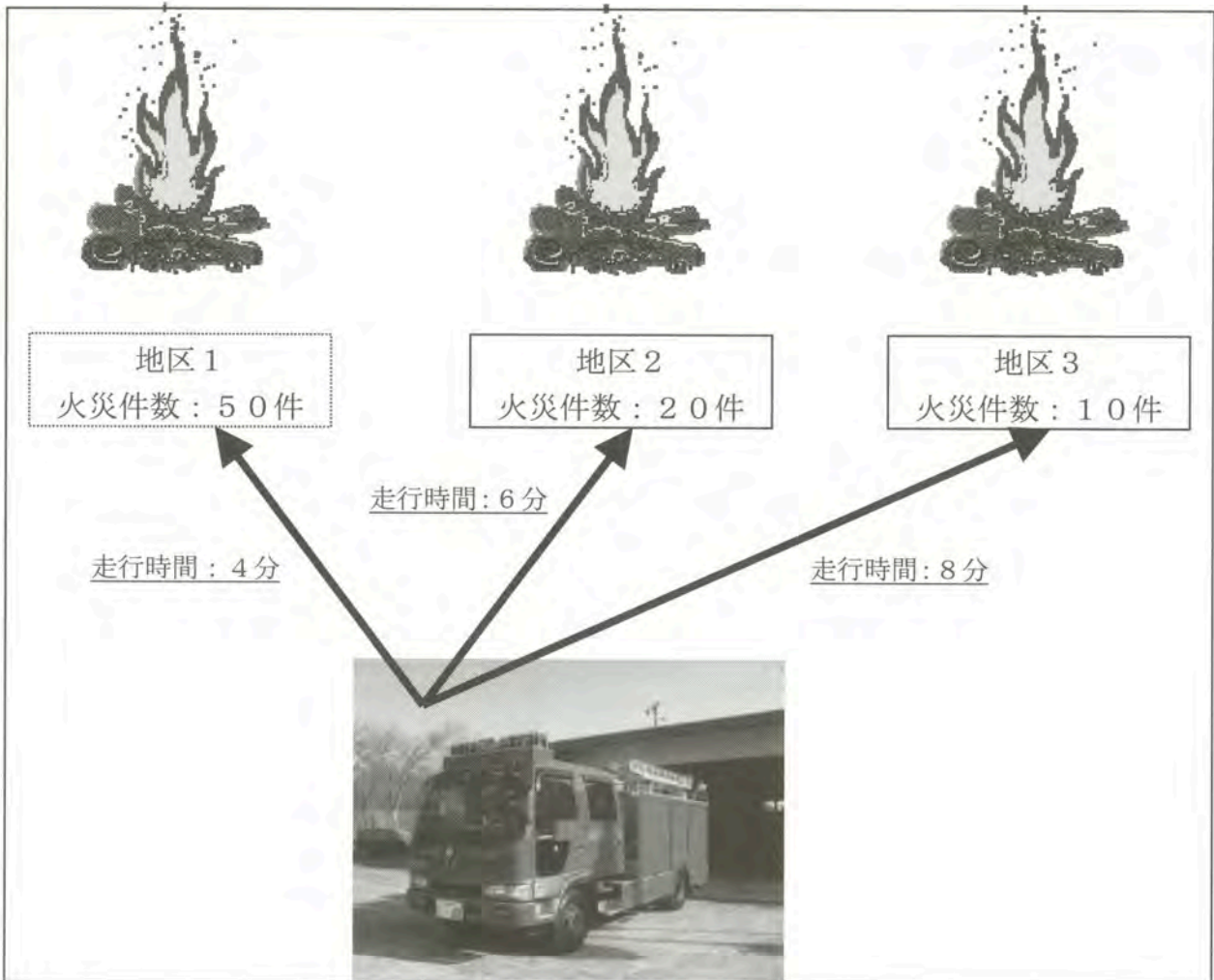
参考：計算の考え方1（消防需要による重み付け<<加重平均>>）

3.2.1 で求められる平均走行時間は、各メッシュの火災の発生頻度をウエイトとして計算する「加重平均」の方式を使用しています。

例えば、下図のように地区1～3があり、地区1の火災件数は50件、地区2は20件、地区3は10件と、地区ごとの発生頻度がわかれば、3つの地区の加重平均（重み付け）した走行時間は以下の式により求めることができます。

（式 3.2.1 参照）

$$\begin{aligned} \text{平均走行時間} &= \frac{4\text{分} \times 50\text{件} + 6\text{分} \times 20\text{件} + 8\text{分} \times 10\text{件}}{50\text{件} + 20\text{件} + 10\text{件}} \\ &= 5 \quad (\text{分}) \end{aligned}$$



3.2.2 救急隊（救急車）の走行時間

一般救急事案に対する救急隊の平均走行時間は、他の消防車両の場合と同様に次式により計算する。

$$Z_A^{(1)} = \frac{\sum A_i r_i}{\sum A_i} \quad (\text{式3.2.3})$$

ただし、

$Z_A^{(1)}$: 救急隊の平均走行時間

A_i : メッシュ i の救急事案の発生頻度

r_i : メッシュ i で発生した救急事案に対する救急隊の走行時間である。

ここで、救急発生頻度は火災件数に比べて非常に高いため、 r_i は、発生場所に直近の署所からだけでなく、近いものから3番目までの署所から出動する可能性を考慮し、次のように表すことにする。

$$r_i = q_{i1} r_{i1} + q_{i2} r_{i2} + q_{i3} r_{i3}$$

ただし、

$q_{i1} \sim q_{i3}$: メッシュ i の救急事案に対して1～3番目の署所から救急隊が出動する確率 ($q_{i1} + q_{i2} + q_{i3} = 1$)

$r_{i1} \sim r_{i3}$: 1～3番目の署所からメッシュ i までの救急隊の走行時間である。

また、 n 分以内に到着できる救急事案の比率 $Z_A^{(2)}$ は、消防隊と同様に次式で計算される。

$$Z_A^{(2)} = \frac{\sum A_i \Delta_i}{\sum A_i} \quad (\text{式3.2.4})$$

ここで、

$$\Delta_i = \begin{cases} 1 & (r_i \leq n \text{分}) \\ 0 & (r_i > n \text{分}) \end{cases}$$

である。

各要素は次のように計算する。

① 救急隊の走行時間

消防隊の場合と同様に、第2章の道路ネットワークデータをもとに、各メッシュについて救急隊を配置した署所からの走行時間を計算する。

② 救急事案の発生頻度

建物火災の発生頻度と同様に、第2章に示した各メッシュの過去3年間の発生頻度をウエイト A_i として用いる。

③ 救急車が出動する確率

図3.2.1のように、1台の救急車が配置された署所 Y_A 、 Y_B 、 Y_C があり、それぞれを直近署所とするメッシュの集まりからなる区域を G_A 、 G_B 、 G_C とする。そして、 Y_A 、 Y_B 、 Y_C に配置された救急隊の平均出動間隔を e_A 、 e_B 、 e_C 、各署所に配置された救急車の平均活動時間（出動から帰署までの平均所要時間）を s_A 、 s_B 、 s_C とする。

いまメッシュ i が G_A に属し、2番目に近い署所が Y_B 、3番目に近い署所が Y_C であるとする。メッシュ i で救急事案が発生したとき、

・ Y_A の救急車が出動中である確率

$$: p_A = \frac{s_A}{e_A}$$

・ Y_B の救急車が出動中である確率

$$: p_B = \frac{s_B}{e_B}$$

・ Y_C の救急車が出動中である確率

$$: p_C = \frac{s_C}{e_C}$$

となる。したがって、そのとき、

・直近の署所 Y_A から救急車が出動する確率

$$: q_{ii} = 1 - p_A = 1 - \frac{s_A}{e_A}$$

- ・ 2 番目の署所 Y_B から救急車が出動する確率

$$: q_{i2} = p_A (1 - p_B) = \frac{S_A}{e_A} \left(1 - \frac{S_B}{e_B}\right)$$

- ・ 3 番目の署所 Y_C から救急車が出動する確率

$$: q_{i3} = p_A p_B (1 - p_C) \doteq p_A p_B = \frac{S_A}{e_A} \cdot \frac{S_B}{e_B}$$

となる。ただし、直近から 3 番目までの救急車全てが出動中である確率はほとんど 0、すなわち $p_A p_B p_C \doteq 0$ としている。したがって $q_{i1} + q_{i2} + q_{i3} = 1$ となる。

実際には、直近の署所から救急車が出動する場合が多く、 e_A 、 e_B 、 e_C の値は区域 G_A 、 G_B 、 G_C の平均救急発生間隔（1 年 525,600 分を各区域の年間救急発生件数で割った値）として近似的に計算することができる。また、平均活動時間は救急車を配置する署所により、表 2.2.2 に示した実測値を用いた。



図 3.2.1 救急車の出動確率計算の模式図

参考：計算の考え方2（救急隊のモデル化<<出動確率>>）

出動件数の多い救急隊の走行時間算定では、「同時多発」を考慮します。

下図のようにある地区Aに、近い順に救急車1～3があったとき、いつも1番近い救急車1が出動できるとは限りません。地区Aで発生した救急事故に対する救急隊の走行時間を算定する際に同時多発を以下のように考慮しています。

まず救急車が、待機中か出動中かの確率を求めます。

$$\begin{aligned} \cdot \text{救急車1が出動中の確率} &= 60\text{分} \times 1,095\text{回/年} \div 1\text{年}(525,600\text{分}) \\ &= 0.125 \end{aligned}$$

$$\cdot \text{救急車1が待機中の確率} = 1 - 0.125 = 0.875$$

$$\cdot \text{救急車2が出動中の確率} = 0.25 \text{、待機中の確率} = 0.75$$

$$\cdot \text{救急車3が出動中の確率} = 0.063 \text{、待機中の確率} = 0.937$$

この確率から、それぞれの救急車が地区Aに出動する確率を知ることができます。

$$\cdot \text{救急車1が出動する確率} = 0.875$$

$$\cdot \text{救急車2が出動する確率} = 0.125 \times 0.75 \doteq 0.094$$

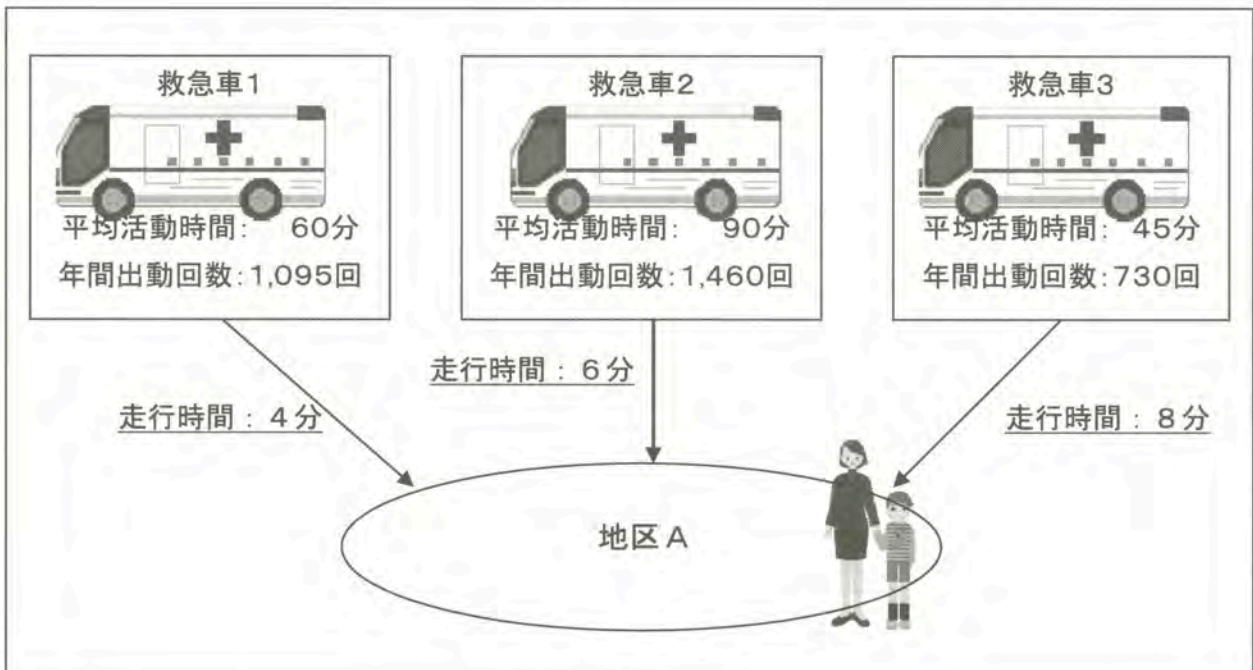
$$\cdot \text{救急車3が出動する確率} = 0.125 \times 0.25 \langle \times 0.94 \rangle \doteq 0.031$$

※ 厳密には $\langle \times 0.94 \rangle$ が入りますが、本算定では救急車3までで全て対応できるものと考え除いています。

以上より、同時多発を考慮した地区Aへの走行時間を求めることができます。

(式3.2.4中 r_i 参照)

$$\begin{aligned} \text{走行時間} &= 0.875 \times 4\text{分} + 0.094 \times 6\text{分} + 0.031 \times 8\text{分} \\ &\doteq 4.31 \text{ (分)} \end{aligned}$$



3.3 適正配置の算定方法

消防力の適正配置を計算する場合、評価の目安となる指標が「最大」あるいは「最小」となるような配置を探すことになる。この目安となる指標を「最優先指標(「目的関数」ともいう)」とする。

ここでは、適正配置の算定対象である消防力(署所及び各消防車両)の「最優先指標(目的関数)」を決めるときの考え方について述べる。

3.3.1 署所の設置

消防署所の適正な位置については、次のように走行時間の基準を設定し、この時間内に到着できる建物火災(世帯数)の数がもっとも多くなる配置を適正とする。

「署所から走行時間4.5分で到着できる建物火災(世帯数)が最大となること」

署所の位置を算出する場合には、第2章に示した道路ネットワーク中の地点から選んでいる。