

第3章 消防力配置の評価・算定方法

第3章 消防力配置の評価・算定方法

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。本調査では、次に示す評価の指標を用いる。

3.1.1 署所位置の評価指標

消防署所は、火災や救急等すべての災害出動の拠点施設である。

署所位置を評価するに当たっては、署所からポンプ車や救急車といった消防車両がいに早く現場に到着できるかが最も重要な要素となることから、署所から災害現場に到着するまでの時間（平均走行時間や一定時間内に到着できる消防需要の比率等）を評価指標として用いることとする。

「消防力の整備指針」に見られるように、必要な署所数や位置等を検討する場合は、火災に重点を置くのが一般的である。一方で、出動件数を見ると、火災よりも救急事案の方が圧倒的に多いことから、本調査では火災と救急事案件数の両方から「消防需要」という指標値を基にして走行時間や比率の計算を行う。

3.1.2 ポンプ車配置の評価指標

ポンプ車は管内で発生するあらゆる災害に出動するが、その中でも特に火災を前提として配置を考えることが適切であり、最先着ポンプ車がいに早く現場に到着できるかが最も重要な要素となる。

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、最先着以降のポンプ車の走行時間も重要になる。そこで、ポンプ車の配置については、第4着ポンプ車が火災現場に到着するまでの時間（平均走行時間や一定時間内に到着できる火災の比率等）を評価指標として用いることとする。

火災の発生頻度は、過去の傾向及び世帯数に関連深いものと考え、過去に発生した火災件数や世帯数を基にして走行時間や比率の計算を行う。

3.1.3 救急車配置の評価指標

救急車は、火災や救助等にも出動するが、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。

救急車の配置については、第3着救急車が現場に到着するまでの時間（平均走行時間や一定時間内に到着できる救急事案の比率等）を評価指標として用いることにする。

なお、実際には出動した救急車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。

救急事案の発生頻度は出動実績に比例するものと考え、過去の発生件数を基にして走行時間や比率の計算を行う。

3.1.4 はしご車配置の評価指標

はしご車は、中高層建物で火災が発生したときの消火や救助等の活動に効果を発揮するものである。本調査では、1台のはしご車が中高層建物火災の現場に到着するまでの時間（平均走行時間や一定時間内に到着できる事案の比率等）を評価指標として用いることにする。

中高層建物火災の発生頻度は中高層建物棟数に比例するものと考え、各地区の中高層建物の分布を基にして走行時間や比率の計算を行う。

3.1.5 救助工作車配置の評価指標

救助工作車は、交通事故等で救助事案が発生したときの活動に効果を発揮するものであり、いかに早く到着できるかが重要になる。

本調査では、1台の救助工作車が現場に到着するまでの時間（平均走行時間や一定時間内に到着できる救助事案の比率等）を評価指標として用いることにする。

救助事案の発生頻度は出動実績に比例するものと考え、過去の発生件数を基にして走行時間や比率の計算を行う。

3.1.6 化学車配置の評価指標

化学車は、危険物施設（第四類危険物を扱う製造所、屋内貯蔵所、屋外タンク貯蔵所、屋外貯蔵所、一般取扱所の5対象施設）における事故が発生したときの活動に効果を発揮するものであり、いかに早く到着できるかが重要になる。

本調査では、1台の化学車が現場に到着するまでの時間（平均走行時間や一定時間内に到着できる危険物施設の比率等）を評価指標として用いることにする。

危険物施設における事故の発生頻度は危険物施設数に比例するものと考え、各地区の危険物施設の分布を基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、署所及びポンプ車等と、救急車の2つに分けられる。どちらの方法も消防需要の量に応じた「加重平均」により評価指標を求めており、消防力の配置を求めるには適当な方法である。

署所及びポンプ車等については、原則的に発災現場から最も近い署所の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。

救急車については、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。

3.2.1 署所及びポンプ車等の走行時間

署所及びポンプ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、消防需要を意味するそのメッシュの火災等発生頻度をウエイトとして掛け、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 着の消防車両の走行時間であり、 \sum 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。 $k = 1$ ならば最先着ポンプ車の平均走行時間、 $k = 2$ ならば第2着ポンプ車の平均走行時間となる。

また、一定時間内に火災等に到着できる比率も、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。

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

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、道路ネットワークデータを基に計算する。具体的には、メッシュ i について、全ての署所からポンプ車がネットワークの最短経路を通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ポンプ車 ($k=1$)、2番目を第2着ポンプ車 ($k=2$)、・・・とする。走行速度は、ネットワーク上を走行するときは図2.1.4で示された速度で、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時速10kmとしている(図3.2.1)。

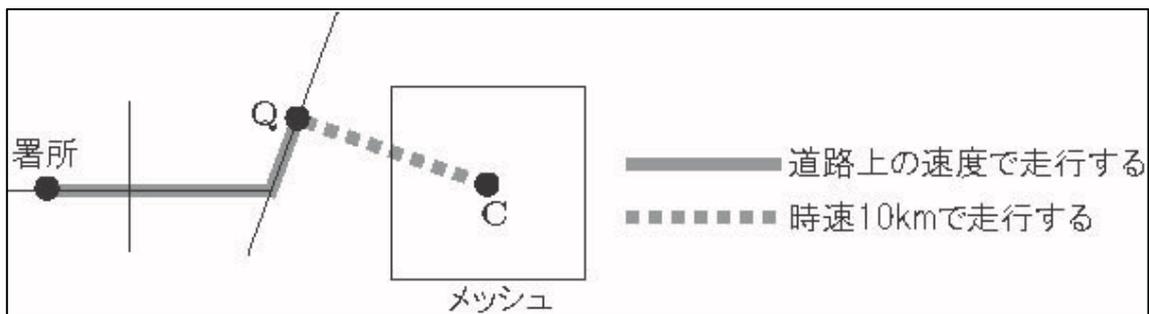


図 3.2.1 署所からメッシュ中心点までの消防車両の到着時間

(2) 火災等の発生頻度

消防署所、ポンプ車及び救助工作車により対象とする事象がそれぞれ異なっていることは3.1で説明したとおりである。火災等の発生頻度であるウエイト F_i を消防車両別に示すと次のとおりである。

- 消防署所 : 各構成市町の火災件数を世帯数で按分したもの及び救急出動件数を基に作成する消防需要指標値
- ポンプ車 : 各構成市町の火災発生件数を世帯数で按分したもの
- 救助工作車 : 各構成市町における過去の救助出動件数
- はしご車 : 各構成市町における中高層建物棟数
- 化学車 : 各構成市町における危険物施設数

【参考 2】 ポンプ車の平均走行時間の求め方

3.2.1で求められる「平均走行時間」は、各メッシュにおける火災等の発生頻度をウェイトとして計算する「加重平均」の方式を使用している。

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る。

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

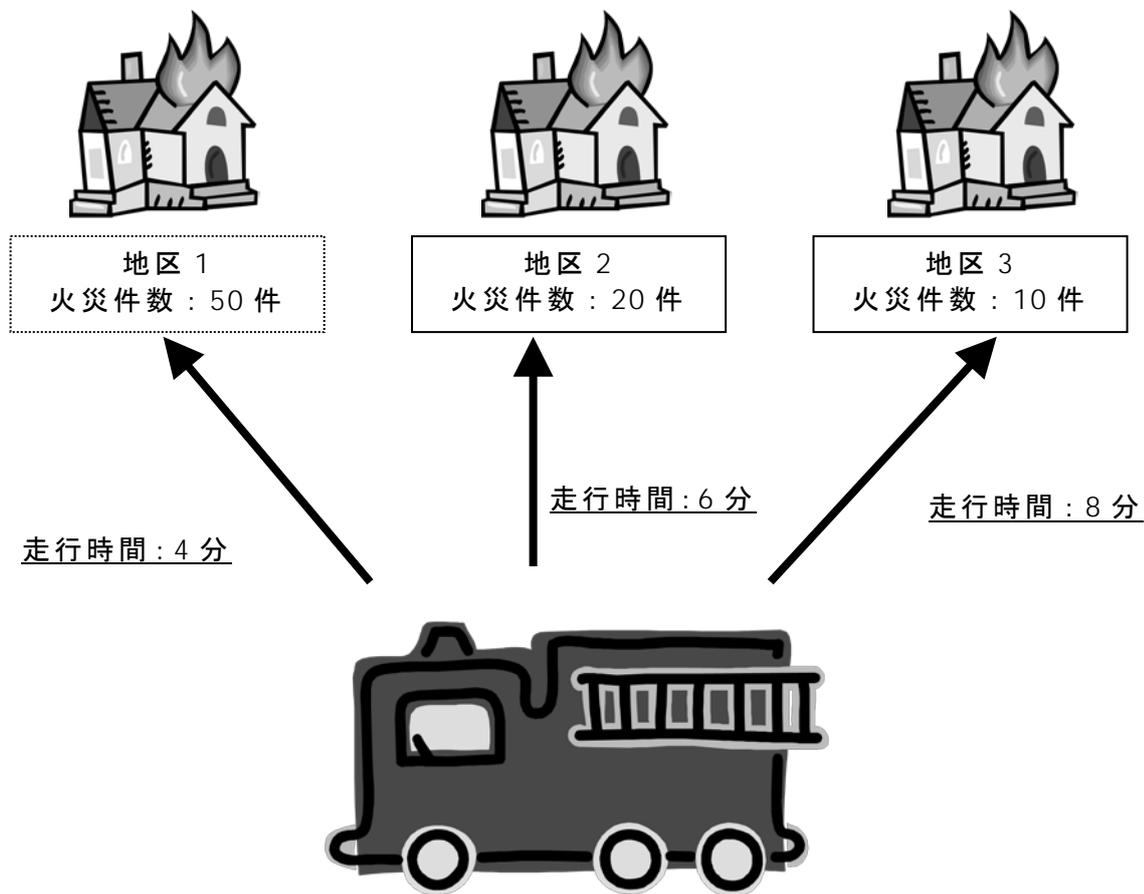


図 3.2.2 ポンプ車の平均走行時間の概念図

3.2.2 救急車の走行時間

救急事案に対する救急車の平均走行時間は、消防車等の場合と同様、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、

$Z_A^{(1)}$: 救急車の平均走行時間

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車の走行時間である。

ここで、救急事案の発生頻度は、火災等に比べて非常に高いため、救急車の走行時間 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。

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

ただし、

$q_{i1} \sim q_{i3}$: メッシュ*i*の救急事案に対して1～3番目に近い救急車が出動する確率

$$(q_{i1} + q_{i2} + q_{i3} = 1)$$

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

また、 n 分以内に到着できる救急事案の比率 $Z_A^{(2)}$ は、消防車と同様、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。

各要素の計算方法は、次のとおりである。

(1) 救急車の走行時間

消防車の場合と同様に、道路ネットワークデータを基に、各メッシュについて、救急車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

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3.2.3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

れた救急車の平均出動間隔を 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。

今、メッシュ i が区域 G_A にあり、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、このとき、

- ・ 直近の署所 Y_A から救急車が出動する確率：

$$q_{i1} = 1 - p_A = 1 - \frac{s_A}{e_A}$$

- ・ 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番目までの救急車すべてが出動中である確率はほとんどゼロ、すなわち、 $p_A \times p_B \times p_C \doteq 0$ 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が属する地区により、実測値を用いる。

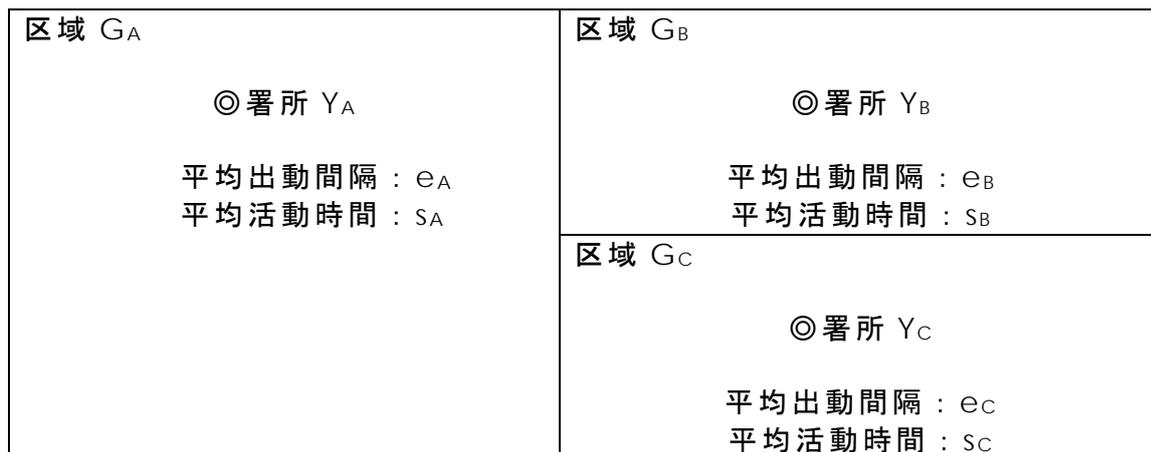


図 3.2.3 救急車の出動確率計算の模式図

【参考3】 出動確率を考慮した救急車の平均走行時間の求め方

救急車とポンプ車との走行時間の違いは、救急車が「同時多発」を考慮している点である。

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到着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る。

まず救急車が、待機中か出動中かの確率を求める。

- ・救急車1が出動中である確率 = $60分 \times 1,095回/年 / 1年(525,600分) = 0.125$
- ・救急車1が待機している確率 = $1 - 0.125 = 0.875$
- ・救急車2が出動中である確率 = 0.25、待機している確率 = 0.75
- ・救急車3が出動中である確率 = 0.063、待機している確率 = 0.937

これらの確率から、それぞれの救急車が地区Aに出動する確率を求めることができる。

- ・救急車1が出動できる確率 = 救急車1が待機している確率 = 0.875
- ・救急車2が出動できる確率 = 救急車1が出動中である確率 \times 救急車2が待機している確率
 $= 0.125 \times 0.75 \doteq 0.094$
- ・救急車3が出動できる確率 = 救急車1、2がともに出動している確率
 $= 0.125 \times 0.25 \ll \times 0.94 \gg \doteq 0.031$

※厳密には、 $\ll \times 0.94 \gg$ が入る。本算定では救急車3までで全て対応できるものと考え、除いている。

以上より、同時多発を考慮した救急車の地区Aへの走行時間を求めることができる。

(式3.2.4 中 r_i 参照)

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

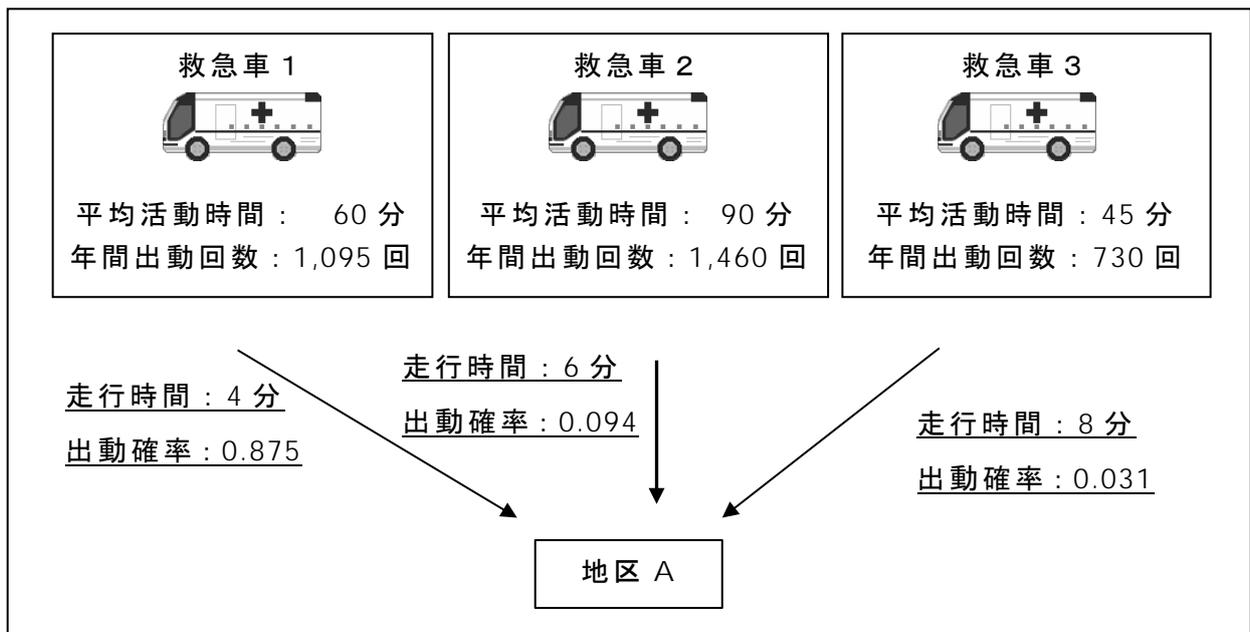


図 3.2.4 救急車の平均走行時間の概念図

3.3 消防力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」とも言う）」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記す。

消防署所の評価指標は、最寄りの消防車両が、消防需要（世帯数）に到着するまでの時間（平均走行時間や一定時間内に到着できる比率）である。

この評価指標の中から最優先指標（目的関数）を設定する場合、具体的には次のような観点がある。これらは、必ずしも両立するとは限らない。

- ・ 消防需要（世帯数）に対する消防車両の平均走行時間を短くする
- ・ 一定時間内に到着できる消防需要（世帯数）の比率を大きくする

本調査では最優先指標（目的関数）として、一定時間内の到着率を設定するが、この場合には基準とする時間をどの程度にするかによって、適正として得られる配置が異なってくる。

一般に、基準とする時間を短くすると火災の発生頻度が高い市街地に署所が集中配備され、長くすると1つの署所で管轄できる領域が広がるため署所は分散配置される傾向が見られる。

基準となる時間をどのくらいに設定するかは、対象地域の広さや密集状況、消防力の総数によって異なり、実際に適正配置を計算するときに試行錯誤的に決めることになる。例えば、5分としたとき消防力が集中しすぎるようであれば、8分あるいは10分と大きくしていく。仮に10分と設定した場合、災害に対して消防車両が10分以内に到着できればよいというわけではなく、10分以内に到着できる災害の比率を最大化することを意味する。ただし、対象地域に不相応な大きな時間を設定すると、算定結果に意味が無くなるので注意が必要である。

そこで、本調査ではそれぞれのケーススタディにおいて、指標となるいくつかの時間を設定して適正配置の算定を行い、得られた複数の結果と現状配置を比較しながら、検討すべき結果を選択し、検討を行うこととする。