

消防力配置計画のシステム化(その1)

財団法人 消防科学総合センター
研究員 山瀬敏郎

1. はじめに

市町村の消防機関で消防活動を実施していくにあたって、現有の消防力を有効に活用するためにはどのように配置すればよいか、あるいは消防力を増強するときどこに置けばよいかといった問題が持ち上がる。これまで、当センターでは、このような問題をシステム工学的に解決するための手法の開発や実用化に取り組んできた。木造建物の年間予想焼失面積を指標とした消防ポンプ車や消防署、同出張所(以下署所という)の最適配置、実際の救急活動記録に基づく救急車の最適配置などがそうである。これらについては既に当機関誌でも紹介してきた。¹⁾²⁾

このたび、これらの従来の手法を市街地状況の変化などに応じて修正するとともに、機能の拡張や考え方の統一を図り、総合的な消防力最適配置システムとして統合することを試みた。その内容について今回と次回の2回

にわたって解説する。

2. システムの概念

消防力の配置を検討する場合、消防車両と消防署所の配置が主要になる。人員の配置は車両の配置に依存するであろう。

消防車両の最適配置は、地域内に決められたいくつかの署所に何台かの消防車両を配置するとき、最も効率的な配置を決定しようというものである。消防車両にはいろいろな種類のものがあるが、ここでは消防ポンプ車、はしご車及び救急車を対象とした。

また、消防車両を効率的に運用できるかは署所の配置によるところが大きい。いくら各署所に車両をうまく配置したとしても、署所の配置が悪いとどうしても効率が悪くなる。そのため署所の最適配置も重要になってくる。

以上から、消防力配置最適システムは図1

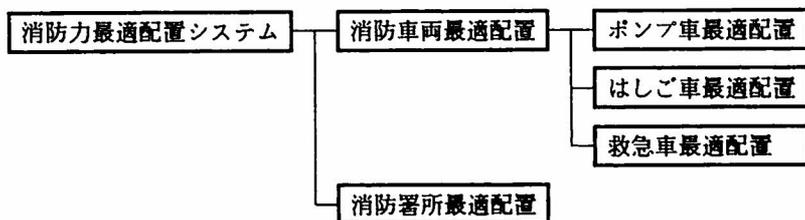


図1 消防力最適配置システムの構成

に示すような構成になる。

3. ポンプ車の最適配置

3.1 従来の最適化手法

最適化を行うためには、何をもって最適とするかの指標を設定する必要がある。これを目的関数と呼ぶ。ポンプ車の配置については、従来、木造建物の年間予想焼失面積を目的関数とし、これを最小にする配置を最適とする方法がよく用いられてきた。³⁾⁴⁾

この方法は「消防に関する都市等級要綱」に基づくものであり、耐火建物は空地とみなし、それ自体からの出火は考慮していない。

しかし、実際には耐火建物の火災の比率は、全国平均で約25%、大都市では40%を超えるところもみられる。耐火建物の火災は、一般に木造建物の火災に比べて焼失面積は小さく延焼しにくいのが、構造の複雑さからくる消防活動の困難性を考えると、少なくとも木造火災と同等の消防隊が必要となろう。

したがって、耐火建物が広範囲に建並ぶような区域を有するところでは、従来の方法を適用してポンプ車の最適配置を決定することは問題があるように思われる。

3.2 改善策の検討

このような問題点を解決するためには、従来の方法を発展させ、木造及び耐火建物を含めた年間の予想焼失面積を最小にすることがまず考えられる。

しかし、耐火建物の場合、延焼性状や消防戦術などが建物の規模、階層、用途、防火区画など個々の建物属性に大きく影響され、木造建物のように一般化してモデルを作成することは非常に難しい。個々の建物属性を考慮してモデル化を行った場合には、仮にできた

としても、実際に適用するにあたって建物1棟1棟の細かいデータが必要になり、実用的ではない。また、耐火建物の火災では、人命検索や煙制御などの放水以外の活動のウエイトが大きくなり、必要な消防力を焼失面積だけで評価することにも問題があるように思われる。

一方、消防機関では災害に対する出動計画が定められており、ある地区で火災などの災害が発生した場合、どの車両が何台出動するかがすべてこの中で決められている。この計画は、火災工学的な考え方や実際の活動経験などをもとに定められたものであり、放水以外の消防活動も含めた実際に必要な消防力が反映されている。

以上から、ここでは出動計画に定められたポンプ車が、できるだけ速やかに参集して活動が行えるような配置を最適配置として決定することを考える。この方法は、単純であるが現実的であり実用化も容易である。

3.3 出動計画の概要

出動計画に基づいたポンプ車配置の最適化手法を検討するにあたって、いくつかの消防機関を対象に出動計画の実態を調べた。結果をまとめると次のようになる。

- ① 建物火災に対する出動は、建物構造にはよらず、階層により一般建物と中高層建物に区分される。
- ② 出動は通常第1～第4出動に区分されており、火災の覚知と同時に第1出動を行う。さらに、火災の規模によって第2から第4までの高次の出動を行う。
- ③ 一般建物、中高層建物いずれの火災に対しても、第1出動ではほぼ同数のポンプ車が出動する。中高層の場合には一般建物に

に対する消防力に加えて、はしご車が增強される（一般建物の火災に対してもはしご車が出動する場合もある）。

- ④ 第1出動として出動するポンプ車の台数は、木造建物火災の隣棟への延焼阻止を目標に決められている。中高層建物の火災に対しては、その地区の木造建物に対する出動台数に準じている。

3.4 新しい最適化手法

(1) 最適配置の考え方

以上のように、ある地区で火災が発生した場合、第1出動として決められた数のポンプ車が近くの署所から出動する。第1出動隊は、火点・人命検索、人命救助、消火など火災初期における重要な活動を行う。第1出動隊だけで消火できそうにない場合に、状況に応じて高次の出動をかける。したがって、火災による被害の低減を図るためには、第1出動隊の迅速な活動が特に重要と思われ、次のよう

にポンプ車配置の最適化を考える。

地域全体で1年間に第1出動として出動するポンプ車の放水開始時間（署所を出発して放水を開始するまでの時間とする）の合計を目的関数として、これが最小になるような配置を最適とする。すべてのポンプ車が放水を行うわけではないので走行時間の合計としてもよいが、ここでは放水開始時間を用いた。

(2) 目的関数の表現

この目的関数を数式で表現すると次のようになる。

- ① 従来の方法と同様に、対象地域（1消防本部が管轄する地域）を、建物状況がほぼ同一な1辺がおよそ300～500mのm個の地区に分割する。そしてi番目の地区に対して、

- ・ 建物火災（木造、耐火を含めた）が発生したとき第1出動として出動するポンプ車の台数を n_i

考えられるポンプ車の配置案(D) 目的関数(Z)と延焼率(R)を計算する。

延焼率がある許容値(α)以下で目的関数が最小のものを最適配置とする。

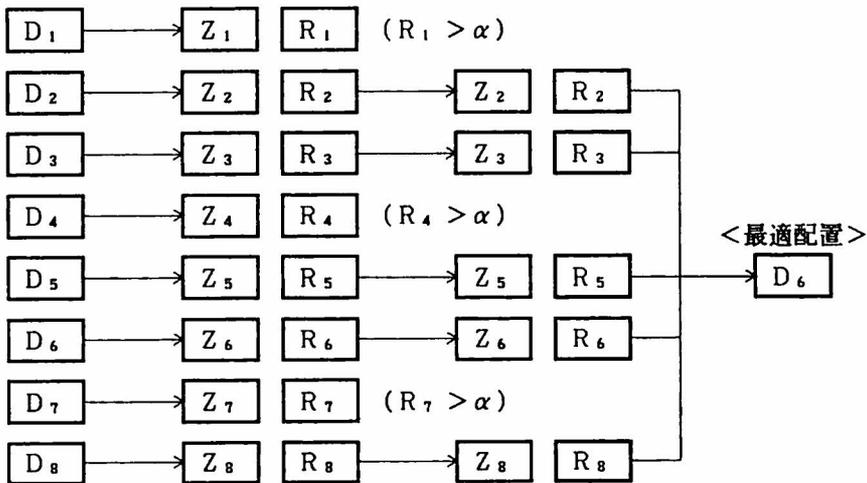


図2 ポンプ車の最適配置探索の概念

- k 番目に到着するポンプ車の放水開始時間を t_{ik} (ただし $k = 1 \sim n_i$)
- 建物火災の年間予想出火件数を f_i とする。

② i 番目の地区の火災に対する第 1 出動車両の放水開始時間の年間合計は、

$$z_i = f_i \cdot \sum_{k=1}^{n_i} t_{ik}$$

となる。

③ 目的関数は、これを地域全体で合計したものを、

$$Z = \sum_{i=1}^m z_i = \sum_{i=1}^m (f_i \cdot \sum_{k=1}^{n_i} t_{ik})$$

として表現される。

(3) 最適配置の探索

この目的関数を最小にするようなポンプ車の配置を多くの配置案の中から探索する。ただし、このとき木造建物の火災に対し、隣棟への延焼を阻止するという消防活動目標を反映するため、延焼率をある許容値以下に抑え

るという制約条件を付け加える。延焼率は、1 年間に地域全体で発生する木造建物の火災件数に対する隣棟に延焼する火災件数の比率として定義する。このような最適配置探索の概念を図 2 に示す。

実際に最適配置を探索する場合、最も単純な方法は、考えられるすべてのポンプ車の配置案に対して目的関数を計算し比較することである。しかし、署所やポンプ車の数が多くなってくると非常に多くの配置案が考えられ、このような方法では計算時間が長くなり実用的でない。したがって、ここでは効率的な最適解探索手法の 1 つである山登り法⁵⁾を用いた。これは、ある初期配置からスタートして、目的関数値が最も減少する方向に探索を進めることにより、効率よく最適配置を求めようというものである。

3.5 手法の適用例

以上に述べたポンプ車配置の最適化手法を実際の地域に適用してみる。対象地域として



図 3 対象地域の地区の設定と消防署所の位置
(■ A ~ I : 消防署所)

表1 ポンプ車の現状配置 表2 ポンプ車の最適配置

消防署所	配置台数
A	2台
B	1
C	2
D	1
E	1
F	2
G	2
H	2
I	1
目的関数：5376分 (6.64分/件・台) 延焼率：31.7%	

消防署所	配置台数
A	2台
B	2
C	1
D	2
E	1
F	1
G	1
H	1
I	3
目的関数：5239分 (6.47分/件・台) 延焼率：31.6%	

図3のような地域を考える。ここにはA～Iの9つの署所があり、全体で14台のポンプを有する。これらは表1のように配置されている。⁶⁾

(1) 算定条件

① 第1出動ポンプ車台数 (n_i)

出動計画に基づき地区別に与える。これにより、各地区で発生する火災に対して早急に必要とする車両台数が反映される。ここでは、簡単にするため各地区ともに5台とした。

② 建物火災の年間予想出火件数 (f_i)

地域全体の年間平均出火件数 (162件) を各地区の建物延床面積に応じて比例配分した。延床面積が得られなければ、地域内の過去の出火状況などをもとに推定して与えてもよい。

③ ポンプ車の放水開始時間 (t_{ik})

地域の道路網及び水利分布に関するデータをもとに、各地区で火災が発生したときのポンプ車の走行時間とホース延長時間を計算し、これらを加えたものを放水開始時間とした。

④ 木造建物火災の延焼率

従来の方法と同様に、都市等級要綱に

従って各地区の木造建物火災の予想焼失面積を計算する。これが木造建物1棟の延床面積を超えるときに隣棟に延焼するとみなし、地域全体の延焼火災件数を計算し、延焼率を求めた。

(2) 算定結果

表1の現状配置を初期配置とし、木造延焼率が現状配置における値 (31.7%) よりも小さくなることを制約条件のしてポンプ車の最適配置を計算した。

結果を表2に示す。最適配置における目的関数値は5239分 (地域内162件の火災に第1出動として出動する5台のポンプ車の放水開始時間の合計) であり、現状の5376分よりも137分減少している。火災1件、1台あたりの平均では6.47分となり、0.17分 (約10秒) 短縮されることになる。延焼率は31.6%でほとんど減少していない。

3.6 まとめ

以上、ポンプ車の配置に関する新しい最適化手法について述べた。この手法では、すべての建物火災に対する第1出動車両の放水開始時間の合計を目的関数として最適配置を決定する。木造建物火災の延焼阻止という活動目標は、最適配置を探索するときの制約条件として取り入れている。これを用いることにより、建物構造による適用範囲の問題が解消されるとともに、従来のシステムと同様のアウトプット (木造建物の地区別予想焼失面積など) も得ることができる。

また、木造建物に関するデータが整備できない場合に、延焼率を計算せずに制約条件なしで最適配置を求めることも可能である。そのときには、単に第1出動車両の放水開始時間の合計を最小にする配置が最適配置とな

る。しかし、木造建物の延焼を阻止することは消防活動上の重要な目標となっており、可能な限り必要な建物データを整備して計算す

ることが望ましい。

今回は、その他の消防車両及び署所の最適配置について述べる。

参考文献等

- 1) 日野宗門：「消防力の最適配置の方法について」, 消防科学と情報, No. 2 (1985)
- 2) 山瀬敏郎：「最適化の考え方(2)救急車の最適配置」, 消防科学と情報, No.13(1988)
- 3) 鳥田耕一：「平常時及び震災時における消防力の効果に関する研究」, (1977)
- 4) 消防科学総合センター：「消防力の最適配置に関する研究開発報告書」, (1982)
- 5) 山登り法については、例えば「最適化の考え方」, 消防科学と情報, No.12 (1988) に解説してある。
- 6) この地域は実際の地域であるが、出動体制は架空のものである。したがって、ここの記述は単に手法の適用例を示すものであり、現状の配置を評価するものではない。

「消防用設備のしくみとはたらき」 (消火設備編)

頒 価 1冊 1,440円 (送料, 消費税込)

申 込 先 〒181 東京都三鷹市中原 3-14-1
財団法人 消防科学総合センター

申込方法 郵便局に備えつけの郵便払込用紙を用い、購入部数、
送付先、電話番号を明記の上代金をお振り込み下さい。

(口座番号 東京 8-102124
加入者名 財団法人消防科学総合センター)