

消防力配置計画のシステム化(その2)

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

今回は、消防力最適配置システムの構成要素の1つであるポンプ車の最適配置について述べた。これは、木造建物の焼失面積を目的関数とする従来の方法に対し、放水開始時間を目的関数とすることにより適用範囲の拡張を図ったものである。

今回は、ポンプ車の最適配置と同様な考え方ははしご車及び救急車に適用してみる。さらに、消防車両を効率的に運用するための署所の配置についても検討する。

2. はしご車の最適配置

2.1 はしご車の出動形態

はしご車の出動計画(第1出動)の一例を表1に示す。このように、消防機関では建物を階層により区分し、はしご車の出動台数を定めており、同じ地区で発生した火災でも出

表1 はしご車の出動計画の一例
(屈折車も含む)

市	階層区分	出動台数
A市	3階以下	0台(地区によっては1, 2台)
	4階以上	2台
B市	3階以下	1台
	4階以上	3台
C市	2階以下	0台
	3階	1台
	4階以上	2台

火建物の階層によって出動台数が異なってくる。階層区分や出動台数の決め方は消防機関によって異なる。

2.2 最適化手法

(1) 最適配置の考え方

はしご車についても、第1出動として決められた数の車両が、できるだけ速やかに参集し活動できるような配置を最適配置と考えることができる。具体的にいえば、1年間に地域全体で第1出動として出動するはしご車の到着時間(署所から現場までの走行時間とする)の合計を目的関数とし、これを最小にすることになる。ポンプ車の場合は放水開始までの時間を用いたが、はしご車の場合は、到着後直ちに放水することは少ないと思われるため、到着時間の合計とした。

最適配置の決定にあたっては、ポンプ車のときのように制約条件を設けず、多くの配置案の中から単に目的関数が最小となるものを最適配置として探索する。

(2) 目的関数の表現

この目的関数は、ポンプ車の場合と同様に定式化できる。ただし、出火建物の階層の要因が入ってくるため、階層区分を表す添字 j ($1 \sim \ell$) が加わり次のようになる。

① 対象地域を m 個の地区に分割し、 i 番目の地区に対して、

- 階層区分 j の建物火災に対して出動するはしご車台数（第 1 出動）を n_{ij}
 - k 番目に到着するはしご車の到着時間を t_{ik} （ただし $k=1 \sim n_{ij}$ ）
 - 階層区分 j の建物の年間予想出火件数を f_{ij}
- とする。

- ② 地区 i で発生する階層区分 j の火災に対して出動するはしご車の到着時間の合計は、

$$z_{ij} = f_{ij} \cdot \sum_{k=1}^{n_{ij}} t_{ik}$$

となる。

- ③ これをすべての階層区分と地区で合計したもの、

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^l z_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^l (f_{ij} \cdot \sum_{k=1}^{n_{ij}} t_{ik})$$

が目的関数となる。

2.3 手法の適用例

以上の最適化手法を、前回と同じ図 1 に示

すような地域に適用してみる。この地域には、9つの消防署所があり全体で3台のはしご車を有する。これらは表2のように配置されている。

はしご車は3階以上の建物の火災に出動するとし、出動台数（ n_{ij} ）はすべての地区について次のように設定した。これは地区により異なってもよい。

- 階層区分 1（3階）：1台
- 階層区分 2（4階以上）：2台

予想出火件数（ f_{ij} ）は、ポンプ車のとくと同様に、地域全体の階層別の年間平均出火件数（3階15件、4階以上48件）を各地区の階層別の延床面積で比例配分した。また、到着時間（ t_{ik} ）は地域の道路網をデータ化し計算する。

表2の現状配置を初期配置として、山登り法により得られた最適配置を表3に示す。この最適配置を現状配置と比べると、はしご車の到着時間は全体で28分、火災1件、1台あ



図1 対象地域の地区の設定と消防署の位置
(A～I：消防署所)

表2 はしご車の現状配置

消防署所	配置台数
A	1台
B	
C	
D	
E	1台
F	
G	
H	
I	1台
目的関数：709分 (6.39分/件・台)	

表3 はしご車の最適配置

消防署所	配置台数
A	1台
B	
C	
D	
E	1台
F	
G	
H	
I	1台
目的関数：681分 (6.14分/件・台)	

によって決まり、救急車の配置には依存しない。したがって、搬送に要する時間は目的関数に入れる必要はないであろう。

しかし、救急車の場合には次のような問題がある。救急発生件数が非常に多く、救急車の数は一部の大都市を除いて署所の数より少ない。したがって、ある地区で救急が発生したとき、最寄りの署所の救急車が出勤中の可能性が高くなることであ

たりでは0.25分（15秒）短縮されている。

3. 救急車の最適配置

3.1 救急車の出勤形態

救急車は、救急だけでなく火災、救助いずれの災害に対しても第1出勤として1台以上出勤する。救急にも1か所の災害現場に何台もの救急車が出勤する集団救急と、1台で対応する一般救急がある。しかし、出勤件数が圧倒的に多いのは一般救急に対する出勤である。したがって、一般救急に対する出勤だけを想定して救急車の最適配置を考えてよい。

3.2 最適化手法

救急車1台で対応する一般救急だけを対象とした場合、ポンプ車やはしご車のところで述べた手法を救急車に適用することは簡単である。すなわち、地区*i*で年間に予想される救急発生件数を a_i 、その地区で救急が発生したときの救急車の到着時間を t_i として、地域全体の到着時間の合計、

$$Z = \sum_{i=1}^n a_i \cdot t_i$$

を目的関数として最小にすればよい。病院への搬送は、患者の病状や病院の受入体制など

る。火災の場合はこのような可能性は非常に小さく、ポンプ車などの配置を考えるうえで無視して差し支えなかった（もちろん警防活動上は考慮しておかなければならない）。救急車の最適配置ではこの点を無視することはできない。

以前に開発した手法では、実際の救急発生状況に基づいて、救急1件1件に対する活動シミュレーションを行うことによりこの問題に対処した²⁾。この手法は、データ作成の面でやや難があったため、ここではもっと簡便な方法を考える。

地区*i*で発生した救急要請に対し、近い順に3番目までの署所から救急車が出勤する可能性を考慮する。これらの署所から救急車が出勤する確率を、近い順に p_{i1} 、 p_{i2} 、 p_{i3} また到着時間を t_{i1} 、 t_{i2} 、 t_{i3} とする。これらから、

$$t_i = p_{i1} t_{i1} + p_{i2} t_{i2} + p_{i3} t_{i3}$$

として、先に示した目的関数を計算する。これにより、近くの救急車が出勤中の場合が配置に反映されることになる。

例えばある地区で救急が発生した場合、最寄りの署所から出勤する確率が80%、最寄り

の署所の救急車が出動中で2番目の署所から出動する確率が15%、ともに出動中で3番目の署所から出動する確率が5%とすると、

$$t_i = 0.80 t_{i1} + 0.15 t_{i2} + 0.05 t_{i3}$$

となる。

これらの確率は、待ち行列の理論を用いて、地域の平均救急発生間隔と平均活動時間から計算できる。発生間隔や活動時間の平均は、過去の実績から推定できよう。

ただし、ここでは出動した救急車は、一旦帰署してから次の救急要請に出動するものと仮定し、帰署途中に次の要請に出動する場合は考慮していない。

3.3 手法の適用例

ポンプ車、はしご車のときと同じ地域(図1)を対象として、以上に述べた手法を適用する。この地域には全体で6台の救急車があり、表4のように配置されている¹⁾。年間の平均救急発生件数は12,703件である。

地区別の子想救急発生件数(a_i)は、地域全体の平均発生件数を各地区の人口に応じて比例配分することにより推定した。これは、過去の発生分布などを調べて推定することも可能である。

表4 救急車の現状配置

消防署所	配置台数	出動頻度
A	1台	2,121
B	1台	2,587
C		
D	1台	1,633
E	1台	1,652
F		
G		
H	1台	2,261
I	1台	2,444
目的関数：53,880分 (4.24分/件)		

ポンプ車、はしご車のときと同様の手順で、救急車の最適配置を計算した結果を表5に示す。最適配置では、表4の現状配置に比べ救急車の到着時間が全体で5,864分、救急1件あたりでは0.64分(約28秒)短縮されている。救急隊別の出動頻度(推定値)についても、同表に示すように、ばらつきが小さくなっており改善されていることがわかる。

4. 消防署所の最適配置

今までは、ある台数の消防車両を固定されたいくつかの署所に効率的に配置することを考えた。今度は、署所自体の最適な配置を決定するための手法について検討する。このような手法は、署所を新設あるいは移転するときなどに利用されることを目的とする。

消防署所の最適な配置としては、

- ① ポンプ車を効率的に運用するための配置
- ② 救急車を効率的に運用するための配置
- ③ 消防車両全体を総合的にみて効率的に運用するための配置

などが考えられる。実際には、ポンプ車の有効利用を前提に署所の配置を検討することが多く、ここでは①の配置を署所の最適配置と

表5 救急車の最適配置

消防署所	配置台数	出動頻度
A	1台	2,124
B		
C	1台	2,095
D	1台	2,223
E		
F		
G	1台	1,673
H	1台	2,462
I	1台	2,154
目的関数：48,016分 (3.78分/件)		

して話を進める。

この場合、前所述べたポンプ車配置の最適化手法を、次のように変更することにより利用することができる。

ポンプ車の配置では、各署所には必ず1台以上配置するという条件のもとで最適配置を探索した。これは、消防署所の存在理由から考えて当然であろう。署所の配置では、この条件を変えて最適配置の探索を行う。例えば、署所を新設する場合、既存の署所には必ず1台以上配置し、いくつかの建設候補地には必ずしも配置しなくてもよいとする。ただし、全体の署所数をいくつにするのかの条件を付け加える必要がある。これにより、署所とポンプ車の最適配置を同時に決定することが可能になる。

5. おわりに

以上2回にわたって、消防車両や署所の最適な配置を決定するためのシステム工学的な手法について解説した。

これらは、次のような場合に利用することができる。

- ① 市街地状況の変化に伴って、現有消防力を評価し再配置を検討するような場合

- ② 建物や人口の増加に伴い消防力を増強するにあたって、その配置を検討するような場合

- ③ 消防体制の違いなどによる消防力の運用効果を比較検討するような場合

このとき、対象とする地域によっては消防活動方針が異なり、したがって目的関数を変更する必要性が生じることもあり得る。ここでは、放水開始時間や到着時間の地域全体の合計が最小になるような配置を最適とした。しかし、消防機関によっては、これらの時間がある許容範囲を越える火災や救急件数を最小にしたいところもあろう。このような目的関数の変更は、その形式にもよるが容易に行うことができる。

今回の研究は、消防機関の出動計画に基づいて消防力の配置を検討したものであり、地域の消防需要については何ら新しい検討は加えていない。これまで木造建物に対しては、火災事例や実験などに基づく科学的な研究がなされており、出動計画の中でもこの成果が反映されている。今後は、耐火建物に対する消防需要の検討を行うことが望まれる。これにより、ここで述べた消防力配置の研究がさらに生きてくるものと思われる。

参考文献等

- 1) 前回と同様に、実際の地域を用いているが、出動体制は架空のものであり、ここで示す結果は現状の配置を評価したものではない。
- 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)