

パソコンによる消防力最適配置システム

財団法人消防科学総合センター

山瀬 敏郎

1 はじめに

市町村の消防機関では、現有の限られた消防力を効率的に運用する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一置けばよいかといったことが重要になってくる。そこで当センターでは、システム工学の手法を適用して、パソコンにより消防力の最適配置を算定することができるシステムの開発を行った。

このシステムは、消防署所と消防車両(ポンプ車、救急車、はしご車、救助工作車、化学車)を対象とするもので、例えば次のようなケースに利用することができる。

①現状の消防力の充足状況を知りたい

現状の消防署所及び消防車両の配置において、管内各地区の消防車両の到着状況を表示することにより、消防力の充足状況を把握することができる。

②現有の消防車両の効率的な配置を検討したい

現状の署所を前提に、現有の消防車両をより効率的に運用するための配置を得ることができる。さらに、このように配置換えすることにより、管内の到着状況が現状に比べてどのように改善するかを把握すること

ができる。

③消防署所の新設・移転などに伴う消防 力配置を検討したい

消防署所の新設、移転、統合、あるいは消防の広域化の必要性が生じた場合、消防車両の到着状況からみた最適な設置場所を得ることができる。さらに、このような場所に署所を設置することにより、現状に比べて到着状況がどのように変化するかを把握できる。また、利用者が署所の設置場所を任意に指定して、その効果をみることも可能である。

④将来的な消防力の整備方策を検討したい

地域の諸事情(市街地の形状や面積、人口の分布、災害の発生分布、道路事象など)を勘案した消防力の整備方策のための検討資料を得ることができる。このとき、将来の道路建設計画を反映することも可能である。

以下に最適配置の考え方とシステムの内容について解説する。

2. 最適化とは

われわれは日常生活においてある行動をとろうとしたとき、行動に応じた目的を定め、できるだけ達成できるように計画することがよくある。例えば、ある地点から別の地点に移動するとき、普通は所要時間や所要経費を小さくすることを目的としてルートを選択するのである。

このようにある行動に対して目的を決め、これが最良となる計画を数多くの計画案のなかから探索することを「最適化」という。最適化問題を解くためには、探索の対象となる計画案をいくつかの変数で表現し、目的をこれらの関数として表わす必要がある。このように表わされた目的を「目的関数」と呼ぶ。最適化は、「目的関数が最小または最大になるような計画(各変数の特定値)を求めること」として定義することができる。

ルート選択の例は、現実にもよく遭遇する最適化問題の1つである。変数には、出発点と終着点の間に通るいくつかの分岐点を対応させることができる。目的関数となる所要時間や所要経費は、分岐点の関数として表わされ、ある分岐点の組に対して一律に定まる。これにより、時間や経費を最小にする特定の分岐点の組を最適ルートとして求めることができる。

目的関数を所要時間としたときと所要経費としたときで、得られる最適ルートが必ずしも一致しないことは明らかである。このように、最適化問題では目的関数をどのように選ぶかによって最適解が異なってくる。また、時間を目的関数とし、経費を制約条件として最適ルートを求めることもある。

例えば、経費が3万円以内で時間が最小となるルートを求めるような場合である。

ほかによく遭遇する最適化の例として施設配置の問題がある。ある地域に郵便局を配置するときどこに設置すればよいかといった問題である。この場合、各郵便局の設置場所を変数とし、計画案(配置案)はこれらの変数の組として表わされる。最適化にあたっては、すべての住民は直近の郵便局を利用することを前提に、住民の総移動距離を目的関数としてこれを最小にする方法がよく用いられる。このとき、人口が少ない地域で移動距離が大きくなりすぎないように制約条件を付けることもある。

3. 消防力最適配置の考え方

消防力の最適配置は、管内で発生する災害に迅速に対処できるような署所や車両の配置を求めようというもので、日常的に発生する火災や救急・事故を対象として考える。署所の最適配置は、決められた数の署所を管内のどこに設置すればよいかを求めることであり、一般の施設配置問題とよく似ている。一般施設では郵便局のように住民が施設側に向かうのに対し、消防署所では施設から住民側(災害現場)に向かうことになるが、最適化の考え方は同じである。

消防車両の最適配置は、ある特定の署所配置を前提として、決められた数の消防車両を各署所にそれぞれ何台配置すればよいかを求めることである。

このような最適化の目的関数として、管内で発生する災害に出動する消防車両の総

走行時間を用いることが考えられる。総走行時間を災害件数で割った平均走行時間を用いても同じことである。しかしこの場合、消防力が災害発生の多い市街地中心部に集中的に配備される傾向がある。これは地域全体の被害を低減するためには避けられないことであるが、集中しすぎると住民サービスの均等化の観点から問題が生じてくる。消防力の集中配備を緩和するために、最適配置を求めるときに地域格差に関する制約条件をつけることが考えられるが、地域格差をどの程度まで抑えればよいかの判断は難しい。

したがって、ここでは目的関数にある時間内に到着できる災害の比率とした。例えば、管内で発生する総火災件数に対して、ポンプ車が5分以内に到着できる火災の比率を目的関数とし、これを最大化するといったようなことである。こうした場合、基準となる時間を小さくすると消防力は集中配備されるが、大きくするにすぎると集中度は緩和されていく傾向が見られる。

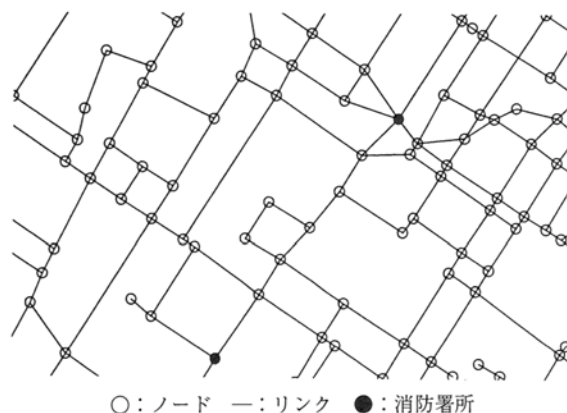
基準となる時間をどの位に設定するかは、対象地域の広さや密集状況、消防力の総数などによって異なり、実際に最適配置を計算するときには試行錯誤的に決めることになる。例えば、5分としたとき消防力が集中しすぎるとあれば、8分あるいは10分と大きくしていく。仮に10分と設定した場合、災害に対して消防車両が10分以内に到着できればよいというわけではなく、遅くとも10分以内に到着できるように災害の比率を最大化することを意味する。ただし、対象地域に不相应な

大きな時間を設定すると、目的関数としての意味がなくなるので注意が必要である。

3. 対象地域のモデル化

ある消防力配置案に対する目的関数を計算するには、管内の災害発生分布と署所からの走行時間が必要になる。そこで、対象地域をメッシュで表わし、各メッシュについて人口、世帯数、過去の災害件数といった災害発生に関するデータを属性として持たせ、配置対象によって適切なものを選んで使用する。

走行時間については、管内の主要道路をネットワークで表わし、署所から災害発生地点まで最短経路を通ることを前提として計算する。ネットワークは、図1に示すようにノードとリンクで構成される。ノードは「点」、「節」とも呼ばれ、主として交差点や曲がり角に対応する。リンクは「辺」、「枝」とも呼ばれ、2つのノードをむすぶ線分のことで、交差点間の道路に対応する。



○：ノード ー：リンク ●：消防署所
図1 道路ネットワークの例

各リンクに属性として走行速度を与えて、任意のノード間の最短経路と所要時間を求めることができる。

4. システムの機能構成

以上のような考え方に基づいて、パソコンによる消防力最適配置システムの開発を行った。システムの機能構成を図2に示す。

「データ設定」は、最適配置の算定に必要な地図データや属性データを組み込むための機能である。また「データ更新」は、設定されているデータを変更するための機能で、次のような変更が可能である。

- ①消防署所データの変更(新しい署所の追加, 既存署所の削除)
- ②道路ネットワークの変更(新しい道路の追加, 既存道路の削除や走行速度の変更)

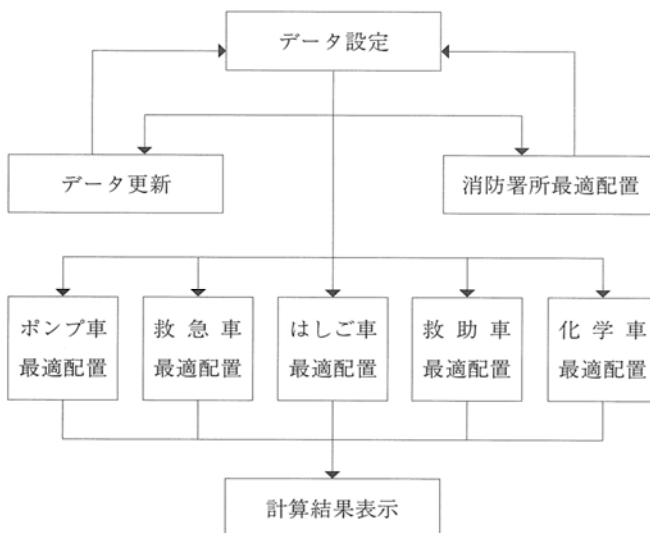


図2 消防力最適配置システムの機能構成

5. 消防署所の最適配置

消防署所の最適配置では、管内で発生する建物火災を対象として、最先着のポンプ車(最先着隊)がある時間内に到着できる比率を目的関数とし、これが最大になるような署所の設置場所を求める。算定には建物火災の発生分布が必要になるが、人口や世帯数の分布、あるいは過去の発生分布を用いる。消防活動は最先着隊だけで行うわけではないが、最先着隊が早く到着することが被害を最小限に食い止めるために最も重要といえる。最先着隊に続く部隊の到着については、後述のポンプ車の最適配置で考慮する。

最適化にあたっては、図1に示したような道路ネットワークのノードを候補地点とし、これらの中から最適な地点を探索する。このとき最も原始的な方法は、可能なすべての組合せについて目的関数を計算し最適なものを選択することである。

しかし、組合せの数が多くなってくると、この方法は時間がかかりすぎて実用的ではない。例えば、500のノードのなかから5つの署所の設置地点を選ぶような場合、約2,500億の組合せがあり最新のパソコンを用いても相当の時間を必要とする。さらにノード数や署所数が増えるとその組合せは爆発的に増加し、実質的に算定不可能になる。

したがって、ここでは「山登り法」と呼ばれる最適化手法

を適用する。この手法は、頂上が見えない状況で山に登ることを想像するとわかりやすい。まず、スタート地点(初期配置)からいくつかの方向に1歩踏み出して高さ確かめる(目的関数を計算する)。

そして、最も高くなる場所(目的関数が最も大きくなる場所)に進む。さらに、この地点からいくつかの方向に1歩踏み出し最も高くなる場所に進む。

この動作をどの方向に踏み出しても高いところがなくなるまで繰り返すことにより、いずれ山の頂上(最適配置)に到達することができる。

しかし、この手法では、図3aに示すようにピークが1つしかないときには最適配置に到達できるが、同図bに示すようにいくつもピークがあるときには、初期状態によっては小さいピークに止まって最適配置に到達することができない。現実にはbのような場合が一般的で、山登り法は最適配置を得ることはあきらめて、準最適配置を得ることで我慢しようというものである。

ここでいう最適配置とはこの準最適配置のことである(専門的には最適解に対して局所的最適解と呼ばれる)。

6. 消防車両の最適配置

ポンプ車は、通常はすべての署所に最低1台は配置されることになる。この場合、管内

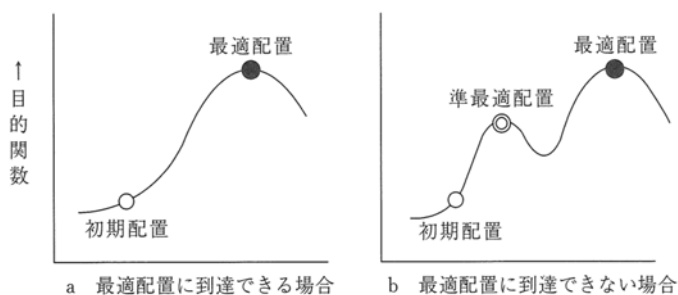


図3 山登り法による最適化の概念図

の最先着隊の到着状況は署所の配置により決まり、ポンプ車の配置には依存しない。したがって、ポンプ車の最適配置は、最先着隊以降に到着する何台かに着目して目的関数

を設定する。何台目まで考慮するかは、第1出動として出動する車両台数が目安になる。仮に3台とすると、管内の建物火災に対して、ある時間内に3台が集結できる火災の比率を目的関数とし、これを最大化することになる。

救急車は、火災や救助でもポンプ車や救助工作車とともに出動するが、圧倒的に多いのは病気やけがによる救急要請であり、これを対象として配置を検討することが妥当と考えられる。この場合、1件の救急要請に対し1台の救急車に対応するのが一般的である。救急車は、要請に対して現場に駆けつけて患者を収容し病院に搬送するが、救急車の配置に依存するのは現場への到着までである。現場から病院への搬送は、救急病院の配置に依存し、救急車の配置には依存しない。したがって、ポンプ車と同様に現場までの走行時間に着目して、ある時間内に到着できる救急の比率を目的関数とする。

算定には人口分布,あるいは過去の救急発生分布が必要になる。

また,このシステムでは中高層建物,危険物施設,また過去の救助要請の発生分布が得られれば,はしご車,化学車及び救助工作車の最適配置を求めることもできる。

最適化の考え方はポンプ車や救急車と同じである。

7. システムの出力内容

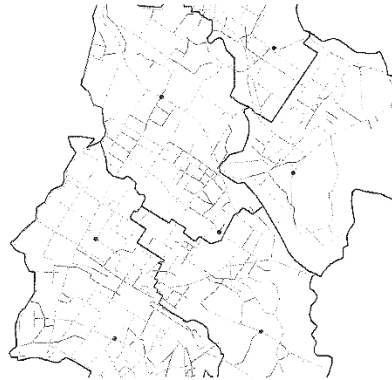
このシステムの主な出力内容は次のとおりである。これらの一例を図4に示す。

- ① 消防力の最適配置と各車両の予想出動頻度
- ② 消防車両の到着状況を示したメッシュ図
- ③ 構成市町村別の消防車両の到着状況を示したリストやグラフ(広域消防の場合)
- ④ 町丁別の消防車両の到着状況を示したリスト

8. システムの導入

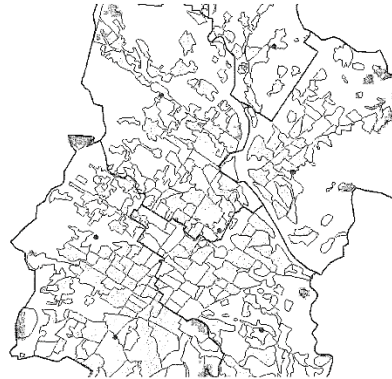
このシステムを利用するためには,地域形状(市町村や町丁目),道路ネットワーク,消防署所(現状),人口や世帯数の分布,中高層建物や危険物施設の分布,過去の火災や救急・救助の発生分布などの基礎データを入力してカスタマイズする必要がある。利用にあたっては,消防車両の走行時間という一面から見た最適配置であることに留意すべきである。なお,このシステムはWindows95,98,NT で動作するが,PentiumII300MH以上のCPU能力が必要になる。

*)この記事は,月刊消防平成12年10月号(東京法令出版)に掲載されたものを,出版者の許可を得て転載した。



消防ポンプ車の配置の最適化結果 (ポンプ車配置最適化)

消防ポンプ車	配置先	配置先名	配置先ID	配置先ID	配置先ID
101	1	101	101	101	101
102	2	102	102	102	102
103	3	103	103	103	103
104	4	104	104	104	104
105	5	105	105	105	105
106	6	106	106	106	106
107	7	107	107	107	107



ポンプ車の到着状況 (ポンプ車到着状況)

ポンプ車	到着状況	到着状況	到着状況	到着状況	到着状況
101	101	101	101	101	101
102	102	102	102	102	102
103	103	103	103	103	103
104	104	104	104	104	104
105	105	105	105	105	105
106	106	106	106	106	106
107	107	107	107	107	107

ポンプ車 (最先着隊) の到着状況 (ポンプ車到着状況)

ポンプ車	到着状況	到着状況	到着状況	到着状況	到着状況
101	101	101	101	101	101
102	102	102	102	102	102
103	103	103	103	103	103
104	104	104	104	104	104
105	105	105	105	105	105
106	106	106	106	106	106
107	107	107	107	107	107

左上：7 署所の最適配置 (目的関数を 5 分以内とした場合)
 右上：7 署所の最適配置 (目的関数を 7 分以内とした場合)
 中左：ポンプ車の最適配置と予想される出動頻度
 中右：ポンプ車 (最先着隊) の到着状況を表わしたメッシュ図
 下左：構成市町村別ポンプ車 (最先着隊) の到着状況
 下右：町丁目別のポンプ車 (最先着隊) の到着状況
 注) 例示した署所や地名はすべて架空のものである。

図 4 消防力最適配置システムの出力例