

# 最適消防力運用に資する消防活動支援情報の出力について

— 消防活動支援情報システムによる消防力運用効果の評価 —

## Information System for Supporting Optimum Fire-fighting Operation

○関沢 愛<sup>1</sup>, 遠藤 真<sup>1</sup>, 座間 信作<sup>1</sup>,  
山瀬 敏郎<sup>2</sup>, 篠原 秀明<sup>3</sup>, 佐々木 克憲<sup>3</sup>  
Ai SEKIZAWA<sup>1</sup>, Makoto ENDO<sup>1</sup>, Shinsaku ZAMA<sup>1</sup>,  
Toshiro YAMASE<sup>2</sup>, Hideaki SHINOHARA<sup>3</sup>, and Katsunori SASAKI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(独)消防研究所

National Research Institute of Fire and Disaster

<sup>2</sup>(財)消防科学総合センター

Institute for Fire Safety and Disaster Preparedness

<sup>3</sup>(株)応用地質

Oyo Corporation

At a disastrous earthquake, emergency response for fire-fighting against simultaneous multiple fires by fire brigades should be done effectively with limited existing resources. For this purpose, the information such as prompt prediction of fire spread at a certain future period, required fire engines and water supply for controlling fires, and also an optimum fire-fighting operation with existing resources based on the data of real time simulation of fire spread and fire brigades' operation are highly helpful for decision-making in setup of strategy of emergency response at the headquarters.

In this paper, we present the outline of our real time simulation system to produce the above mentioned information for supporting fire-fighting activities, which is one of key elements of prompt prediction models in the "Information System for Support of Fire-fighting Activities" developed by the authors.

*Key Words: Emergency Response, Fire-fighting Activity, Real Time System, Fire Simulation, Information System, Optimum Fire-fighting Operation*

### 1. はじめに

大規模地震時の同時多発火災に対しては、現有の限られた消防力（消防車両、消防水利等）を有効に活用し効率的な消防活動を行って被害を最小限にとどめる必要がある。そのためには、出火点数や出火位置などの災害情報に基づいてリアルタイムに延焼予測や消防隊配備のシミュレーションを行い、一定時間経過後の延焼状況の予測、またその延焼予測に基づく消火可否判定や必要消防力算定、さらには同時多発火災に対する最適消防力運用などの情報を、消防指揮本部において迅速に把握することが消防隊の運用方針や戦略の意思決定にとってきわめて重要となる。

筆者らは、このような消防活動支援情報を出力するための延焼予測と消防力運用シミュレーションから成るリアルタイムシステム構築に関する研究開発<sup>1)</sup>を行っており、本稿では、その初動時の消防力運用に資する支援情報出力について報告する。なお、本システムを開発するにあたっては、どの消防本部でも利用可能なシステムとするために、高価な機器構成を必要とせず、市販のPC（CPU：Pentium III 1GHz, メモリ 512MB）があれば、出火点情報、風向・風速、延焼予測推定時間などのパラメータさえ入力すれば、ごく短時間に延焼予測結果をはじめ、必要消防力や延焼阻止可否判定などの消防活動支援情報が得られる汎用的システムとして開発を行っている。

### 2. 消防力運用支援一次情報（対放任火災）

初動時においては、発生した火災に対する消防力の過不足を判断し、不足する場合にはどの部隊をどの火災に出動させればよいかといった戦略を決定する必要がある。そのために、個々の火災について消火に必要な部隊数、消火活動が可能な部隊数が時間経過に従ってどのように推移するかをビジュアルに表示することを目的としたものが、ここで述べる消防力運用支援一次情報である。

これは、一つ一つの火災に対して、それが放任状態で延焼していると想定し、ある任意の予想時刻時点について必要消防力の算定や消火可否判定の情報を出力することによって、消防力運用の優先順位を決定する際の支援情報とするものである。なお、この消防力運用支援一次情報では、投入する消防力の適用効果を延焼予測に逐次反映することはしていない。消火に必要な部隊数は延焼シミュレーション結果から、活動可能な部隊数は消防署所、道路ネットワーク、水利情報と出火場所から算定しているものである。出力する情報は以下の通りである。

- ①鎮圧に必要な消防部隊数
- ②火面長の長さ
- ③必要水量
- ④活動可能消防部隊数
- ⑤有効水量
- ⑥消火可能判定結果

延焼シミュレーション結果から支援情報を出力するまでの流れを図1に、処理の概略を以下の①～⑤に示す。

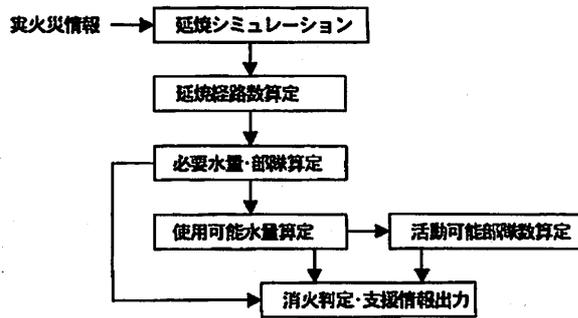


図1 支援情報を出力するまでの流れ

- ① 設定時間毎に個々の火災の延焼範囲(延焼棟数)を算定する。このとき、火点単位で集計を行う。
- ② 算定した各火災について、設定時間ごとに炎上建物から未燃建物間の延焼経路数(言い換えれば消防隊投入必要箇所数に相当)を算定し、消火に必要な水量と消防部隊数(放水口数)を算定する。
- ③ 各火災について、消防部隊がホースを延長して放水が可能な水利を検索し総水量を算定する。この総水量が必要水量に達しない場合は消火不能とする。
- ④ 検索された水利に設定時間までに駆けつけて消火活動が可能な部隊数を算定する。活動可能な総部隊数が消火に必要な部隊数に達しない場合は消火不能とする。
- ⑤ 消火に必要な水量及び部隊数とともに確保できた火災を消火可能と判定する(個々の火災に現有部隊を集中することを前提に)。また判定プロセス②～④の算定結果を支援情報として出力する。

なお、各火災における消火可能判定は、設定時間ごとの炎上建物から未燃建物の延焼経路数算定(消火に必要な消防部隊数)の結果と、消防水利データ、消防力データから算定される活動可能消防部隊数の結果を比較して、対象とする火災が消火可能かを判定するものである。図2は、消火可能判定を行うための支援情報出力例である。

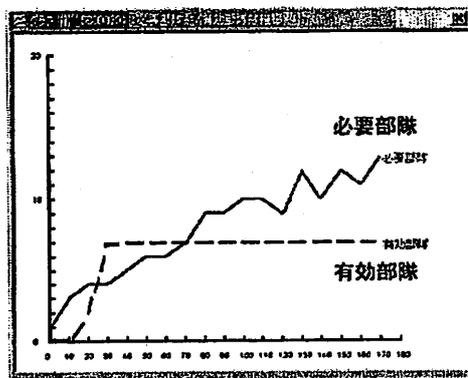


図2 放任火災時の必要消防部隊数と有効部隊数の推移

### 3. 消防力運用効果を反映した支援情報の出力

前項2.に述べた機能は、ある特定の火災に対して放任状態での延焼拡大に伴う必要部隊数と、駆付け及び消防

水利の条件から決まる活動可能な部隊数を、支援情報として時系列に表示するものであった。次のステップとして、順次到着する消防隊による放水効果を反映し、これによる延焼拡大の阻止あるいは遅延の状況を時系列に表示できるようにするものを開発した。なお、このステップにおいても、前項2.と同様にある特定の火災に対して地域の全消防隊を投入することを前提としている。

#### 3.1 消防隊による放水効果の反映

本システムでは、1隊の消防隊による放水効果を、1つの炎上建物から未燃建物に至る延焼経路を遮断し、被延焼建物を不燃化するものとする。不燃化した建物は、その後別の炎上建物からも延焼することはない。1隊が筒先2口で放水を行う場合には、同じ炎上建物から別の未燃建物に延焼する経路があれば、同様にこれを遮断して未燃建物を不燃化する。2口放水の場合、例えば図3に示すように炎上建物Aから未燃建物B、Cに延焼する経路を遮断してB、Cを不燃化することができる。さらに建物Aから別の建物(例えばD)への延焼経路があっても、1隊2口ではこれを遮断することはできないが、仮に3口放水可能であれば遮断することができる。一方、炎上建物から経路が1本しか出ていないときには、放水口数に関わらず1隊で延焼経路1本だけを遮断する。

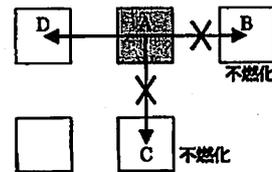


図3 消防隊による放水効果の例(2口放水)

#### 3.2 部隊投入箇所の決定

次に、ある火災に消防隊が到着したとき、どの延焼経路を遮断するかを決定する必要がある。これについては、消防隊の放水開始時刻(TP)からある時刻(TE:2時間後とした)までの延焼シミュレーション結果を利用するものとし、そのために次の2つの「被延焼クラスタ」という概念を取り入れる。

- 建物クラスタ: TPにおけるある1つの炎上建物が起点となってTEまでに延焼する建物数
- 経路クラスタ: TPにおけるある1つの炎上建物から出る1本の延焼経路が起点となってTEまでに延焼する建物数

図4で説明すると、炎上建物Aが起点となってTEまでに17棟が延焼しているため、Aの建物クラスタは17になる。また、建物Aからa,b,cの3本の延焼経路が出ており、それぞれが起点となって4棟、5棟、8棟が延焼している。したがって、a,b,cの経路クラスタはそれぞれ4,5,8となり、これを合計するとAの建物クラスタ17になる。建物クラスタ及び経路クラスタは、TPにおけるすべての炎上建物とこれから出る延焼経路について算定できる。

このクラスタの概念を用いて部隊を投入する経路を以下のように決定する。

- ① 延焼シミュレーション結果からTPでの炎上建物を求め、それぞれについてTEまでの建物クラスタと経路クラスタを求める。
- ② 建物クラスタが最大の炎上建物を求める。

③この炎上建物から出る延焼経路について、放水口数に応じて経路クラスタが大きい順に遮断して被延焼建物を不燃化する。2口放水であれば2本の経路を遮断できる。

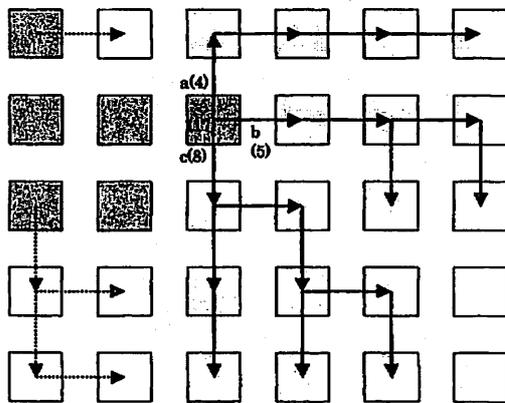


図4 被延焼クラスタの概念

### 3.3 部隊投入効果の算定・表示

3.1 及び 3.2 に述べた考え方をベースに、ある特定の火災に地域内のすべて消防隊が順次駆け付けて活動するとして、以下の手順により消防効果算定を行った。

- ①出火から TE までの延焼シミュレーションを行う(放任火災)。
- ②第 1 着隊の放水開始時刻 TP1 における炎上建物を求め、TE までの延焼シミュレーション結果から投入経路を決定して遮断する。
- ③この状態で TP1 から TE までの延焼シミュレーションを行う。
- ④第 2 着隊の放水開始時刻 TP2 における炎上建物を求め、TE までの延焼シミュレーション結果から投入経路を決定して遮断する。
- ⑤この状態で TP2 から TE までの延焼シミュレーションを行う。
- ⑥以上④⑤の処理をすべての部隊を投入するか鎮圧するまで繰り返す。

この算定結果は図5及び図6のように表示される。図5から、消防部隊が延焼ポテンシャルの大きい側に投入されていること、そして投入後の火災拡大状況を地図上で見ることができる。図6では、放任火災時と消防力適用時の累積炎上建物数を時系列に比較しながら見ることができ、部隊投入による消防力運用効果を累積炎上棟数の低減効果として判断することができる。なお、この計算例では、算定条件を次のように設定している。

- 延焼：風速 0m/s、風向北（風速 0 のため効果はなし）、焼け落ち時間 40 分(焼け落ち後は延焼しない)
- 水利：ホースを最大 20 本まで延長するとして火災(焼失建物の幾何重心)から 282m 以内の水利(防火水槽)を近いものから使用、40t 水槽には 1 隊、100t 水槽には 2 隊が部署可能とする。
- 駆付け：消防隊は各署所から使用水利まで最短経路を通過して時速 15km で走行する。

なお、部隊投入箇所は利用者の判断により任意に設定することもでき、そのときの効果を図5及び図6と同様の地図やグラフで見ることが可能である。

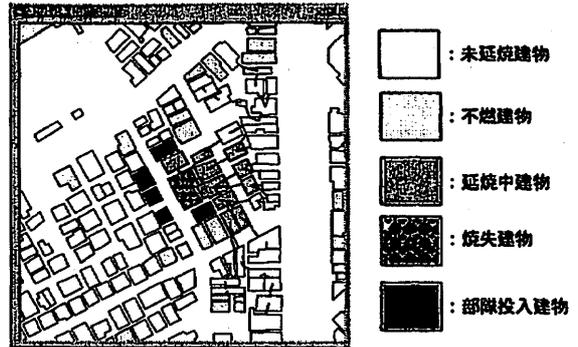


図5 3 部隊投入時の出火後 1 時間の状況

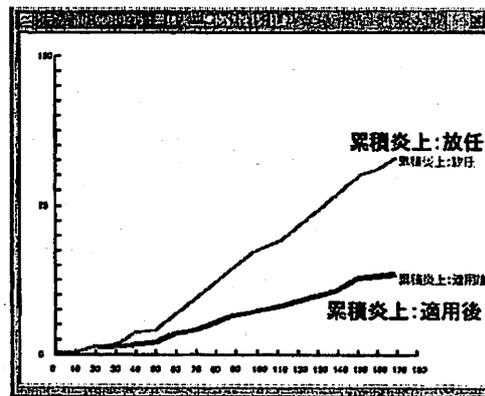


図6 累積炎上建物数比較

### 4. 同時多発火災に対する消防部隊の最適運用

以上までの計算例では、ある 1 つの火災にすべての消防隊が集中する場合を考えてきたが、実際には同時多発火災に対して消防隊をどのように出動させるかが重要になる。これは組合せ最適化問題の 1 種であり、数理計画法、山登り法、遺伝的アルゴリズムといった一般的な最適化手法により解くことが考えられる。ただし、数理計画法を適用するためには問題をかなり単純化する必要がある。前項 3. で述べた現実的なモデルをベースとした場合には適用が難しい(なお単純化して数理計画法を適用することも 1 つの有効な方法ではある)。山登り法や遺伝的アルゴリズムは、前項 3. のモデルに基づく目的関数(あるいは適応度)の算定ルーチンを作成することにより適用できるが、リアルタイムシステムでは計算時間が問題になる。このようなことから、現段階では 3.2 の部隊投入の考え方を拡張し、以下の手順により多発火災に対する最適(適切)な出動形態を決めて投入効果とともに表示できるようにした。

- ①各火災について水利条件による活動可能な部隊数を考慮して消防隊の出動順位を求める。例えば、火災が 3 件発生し消防隊が 5 隊(P1~P5)あるとすれば次のようになる。

火災1	P3	P1	P5	P2	P4
火災2	P1	P4	P3	P5	
火災3	P3	P2	P5	P4	P1

- ②各火災の最早到着隊をみて、重複していないものは(例えば P1)はその火災で活動するとし、3.2 の考え方により部隊投入する。重複しているものは(例えば P3), その時点での建物クラスが最大の炎上建物を有する火災を選び(例えば火災 1), 3.2 の考え方により部隊投入する。
- ③出動順位の中からすでに投入した部隊を削除する。

火災1 P5 P2 P4

火災2 P4 P5

火災3 P2 P5 P4

- ④上記②,③の処理を全ての部隊を投入するまで繰り返す。

算定結果の一例を図7～図9に示す。初動時の対象エリアとして横須賀市消防局の第一方面管内を選び、出火点は図7に示す3点、消防隊は4箇所の署所に計8隊あるとした。図8をみると、周辺の建物密集度が最も高い出火点2に5隊が出動し、延焼危険が大きい西側と南側から囲んでいる。出火点1,3にはそれぞれ2隊、1隊が出動し、やはり延焼危険が大きい側から投入されていることがわかる。まだ多くの出火パターンについて確認したわけではないが、上記アルゴリズムの妥当性が伺える。また各火災について、消防隊の投入効果を示したものが図9である。

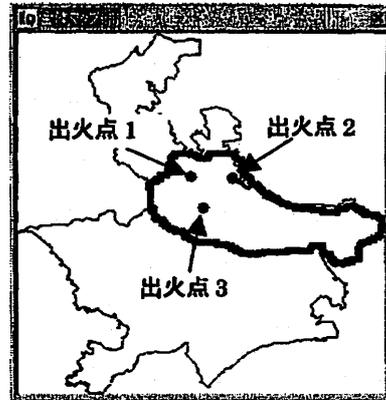
### 5. おわりに

本研究では、1棟単位の延焼シミュレーションをベースに、多発火災に対する初動時の支援情報を提供するためのシステム開発を行った。出力情報は、個々の火災の拡大に伴って必要となる部隊数と活動可能な部隊数、順次到着する消防隊の投入箇所と投入効果、多発火災に対する消防力の最適運用とその効果であり、本稿で述べたように支援情報として有用な結果が得られることが確認できた。

今後は、上記の初動時における最適運用モデルに改良を加えながら、転戦及び2次運用時にも適用できるように拡張していく予定である。これについては、初動時には署所にいる消防隊が、出動先の水利にいるとして同様のモデルが適用できると考えている。また、ベースとなる延焼シミュレーションモデルについてもより現実的なものに改良していきたい。

### 【参考文献】

- 1) 座間・他：被害情報収集システムの開発，地域安全学会梗概集，113-116，2001。
- 2) 関沢・他：リアルタイム延焼予測に基づく消防活動支援情報の出力システム，地域安全学会梗概集，117-120，2001。

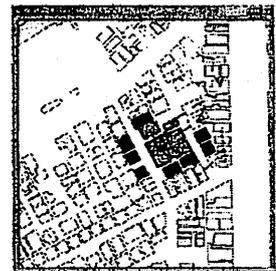


(横須賀市消防局第一方面管内を対象)

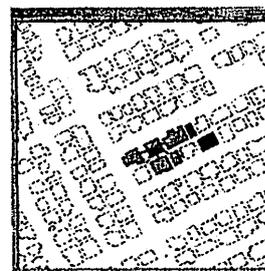
図7 シミュレーション対象地域と3点の出火位置  
(使用可能消防ポンプ車数：8台と仮定)



出火点1 (2隊で3口)



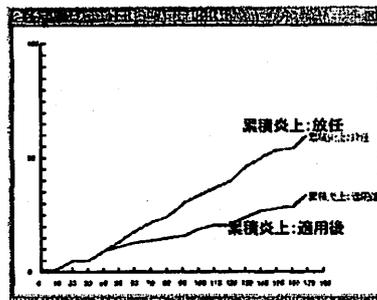
出火点2 (5隊で9口)



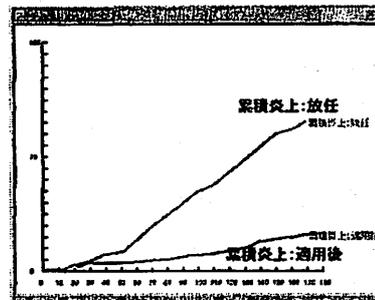
出火点3 (1隊で2口)

図8 出火から40分後の各出火点ごとの算定結果

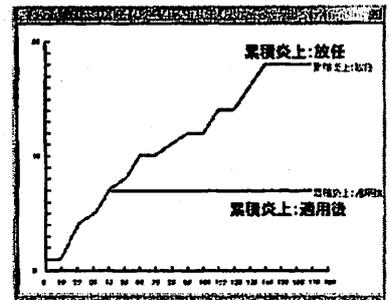
- 出火点1:30分後に2隊配備
- 出火点2:20分後に2隊配備
- 30分後に2隊配備
- 40分後に1隊配備
- 出火点3:30分後に1隊配備



出火点1



出火点2



出火点3

図9 各火災における放任時と消防力適用時の累積炎上建物数比較