

地震時の消防力に関するシステマ的研究

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

大規模地震が発生した場合、特に市街地においては多くの火災が発生し、大きな被害を受けることが懸念される。消防機関は、このような地震火災に対して、保有している消防力を効率よく運用し、被害を最小限に食い止めなければならない。そのためには、現有の消防力が予想される地震火災にどの程度対処できるのかを事前に把握し、不足すると思われる場合には、消防力の増強、出火防止、街の不燃化などの対策をたてておくことが重要である。ここでは、地震火災を想定したときの現有消防力の評価に対するシステム工学的なアプローチについて述べる。

2. モデル化の考え方

そのためには、まず、出火、延焼、消防活動とその効果といった実際の現象や活動を、コンピュータで処理できる形に単純化、抽象化する必要がある。これをモデル化と呼び、システムのアウトプットの信頼性を左右する重要な作業である。

2.1 出 火

大地震が発生した後、短時間の間に多くの火災が発生することが予想され、それに対処するためには、火災の発生時刻と発生場所が

問題になる。発生時刻については、発災時の消防戦術の決定の際に重要になってくる。現時点で発生あるいは覚知している火災に全消防力を投入してしまうと、その後さらに危険な場所で発生した火災に対応できなくなる恐れがあるためである。モデル化にあたって、これは非常に難しい問題である。しかし、今考えているのは消防力の過不足を評価するシステムであり、消防戦術の意思決定システムではない。したがって、出火時刻の問題は考慮せずに、地震の発生と同時に多数の火災が発生すると考え、出火場所だけをモデル化した。

火災がどこに発生するかは確率的な事象である。すなわちサイコロを振って決めるようなものである。ただし、場所によって火災の発生し易いところとしにくいところがある。発生し易いところだけに発生するものではなく、発生しにくいところにも発生する可能性がある。そこで、対象地域全体で予想される出火件数と地区（町丁目程度）別の出火危険度を定め、乱数によりどの地区に発生するかを決めることにした。確率モデルであるため、多く（数百～千通り）の同時多発火災を発生させ、それぞれについて消防力の運用効果を算定し、平均的な結果を検討することになる。

これにより、地域の出火特性を考慮した消防力の評価が可能になる。

2.2 延焼

個々の火災は、地区の中心に発生し、地区の中を風下、風横、風上の各方向に、浜田の実験式に基づく速度で延焼していくと考える。延焼区域は図1に示すような2つの半楕円に囲まれる区域とし、これをもとに焼失面積と火面周長を計算する。

2.3 消防活動

地震火災に対する消防活動は、一般に、地震発生直後の1次運用と、1次運用で鎮圧できなかった火災が拡大した段階の2次運用に別れる。1次運用は、多発火災の初期鎮圧を目的とした署隊運用であり、2次運用は、延焼火災の抑制阻止や避難の安全確保を目的とした広域部隊運用となる。ここで述べるシステムは、1次運用だけを考慮して、現有の消防力でどの程度対処できるかを検討するためのものである。

(1) 火災の覚知

前に述べたように、仮に多数の火災が同時に発生したとしても、消防機関がこれらの火災を同時に覚知することはあり得ないであろう。しかし、ここでも出火のモデル化と同じ理由で、消防機関は火災発生の一

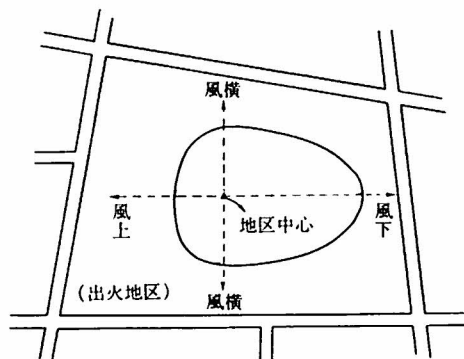


図1 延焼のモデル化

定時間後にすべての火災を同時に覚知すると仮定する。

(2) 出動形態の決定

ある消防署管内に発生した複数の火災に対して、一つの消防署といくつかの分署または出張所から消防隊（消防車）を出動させる。そのときの出動形態（どの署所からどの火災に何台出動させるか）を決定する必要がある。ここでは、1次運用時の消防活動の目的を考えて、鎮圧火災数と一定時間後の焼失面積を目的関数とした最適化モデルにより出動形態を決定した。すなわち、第1条件として鎮圧火災数を最大にし、これが同じ場合には焼失面積が最小になるような出動形態を選ぶ。このモデルにより、ある出火パターン（同時多発火災）に対し、延焼速度、走行距離、水利条件を考慮した最適な出動形態が決まる（注1）。

(3) 消防車の走行

地震時に消防車が走行可能と考えられる一定幅員以上の道路をもとに消防車走行路ネットワークを作成する。消防車は、このネットワークの最短経路を通して、消防署所から火災（出火地区）まで走行する。地震時には様々な走行障害が生ずる恐れがあるが、それを考慮した走行速度を道路（ネットワークのリンク）ごとに設定することが望ましい。

(4) 水利部署

消防車は、出火点から最大ホース延長距離を半径とする円内の水利に部署して消火活動を行うことができる（図2）。したがって、各地区について、この円内に平均していくつの水利が含まれるかでそれぞれの地区で活動できる消防車台数の上限が決ま

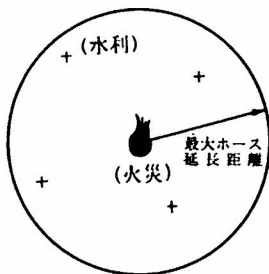


図2 使用可能な水利

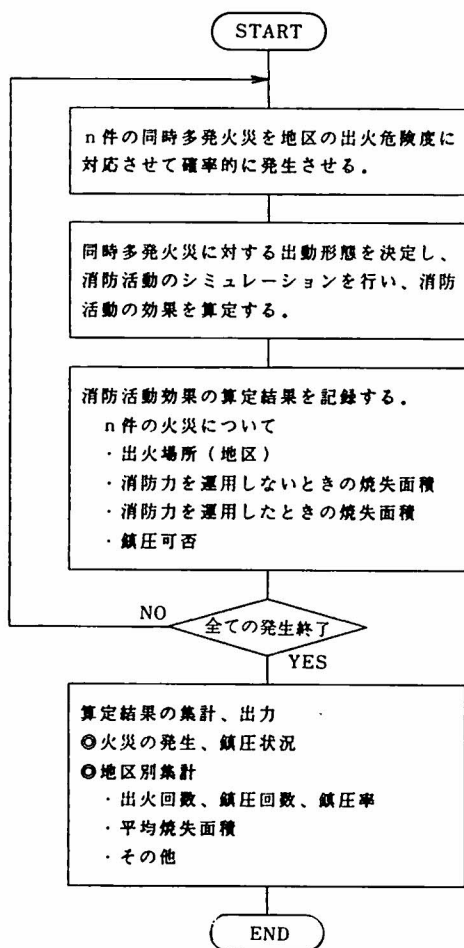


図3 システムの概要フロー

る。

水利については、地震の想定や地盤の強弱などによって、消火栓は使用不能、あるいは何mm以下の配管に取り付けられた消火栓は使用不能といった条件をつける。貯水型の水利では、1つの水利に部署できる消防車台数は、貯水量をもとに決める。

(5) ホース延長

ホース延長時間 t は、地区の水利密度から平均延長本数 n を求め、実際のデータに基づく直線回帰式 $t = an + b$ により計算する。

2.4 消防活動効果

ある時刻に何台かの消防車が放水を始めたとする。筒先で包囲できる火面長が火災の火面周長を上回ったとき、その火災は鎮圧可能とする。鎮圧できない場合、放水効果をどのように反映するかが問題になる。ここでは、単純に包囲率にしたがって延焼速度を下げることにした。火災の火面周長の60%しか包囲できない場合には、いままでの40%の速度で続けて延焼していく。

放水効果のモデルについては、今後の火災実験等の研究成果を待って、より現実的なものにしていきたい。

3. システムの概要

以上の考え方に基づいてプログラミングを行い、地震時の消防力を評価するためのシステムを作成した。その概要を図3に示す。

4. システムの出力結果

このシステムを実際の地域に適用して、ケーススタディを行ったときの出力例を以下に示す^(注2)。対象地域には3つの消防署があ

表1 火災の発生、鎮圧状況

風速	消防署区域	消防車台数	1000回の合計			1回の平均		
			火災発生件数	鎮圧可能件数 (鎮圧率)	鎮圧不可能件数	火災発生件数	鎮圧可能件数	鎮圧不可能件数
5m/s	①	14台	11409件	3893件 (34%)	7516件	11.4件	3.9件	7.5件
	②	10	7518	3146 (42)	4372	7.5	3.1	4.4
	③	8	5073	1947 (39)	3126	5.1	1.9	3.1
	合計	32	24000	8986 (37)	15014	24.0	9.0	15.0
10m/s	①	14台	11409	2363 (21)	9046	11.4	2.4	9.0
	②	10	7518	1894 (25)	5624	7.5	1.9	5.6
	③	8	5073	1086 (21)	3987	5.1	1.1	4.0
	合計	32	24000	5343 (22)	18657	24.0	5.3	18.7

表2 算定結果の地区別集計

町番号	町面積 (ha)	延焼速度 (m/分)	水利密度 (m/ha)	(注1) 火災発生率 (件)	(注2) 鎮圧率 (%)	(注3) 焼失面積 消防力なし (㎡)	(注4) 焼失面積 消防力あり (㎡)	(注5) 消防効果 (㎡)	(注6) 走行時間 (分)
1	111.1	1.31	6.5	0.754	13.1	9352.3	6940.8	2411.4	10.3
2	85.7	0.80	20.5	0.238	7.6	5430.9	1238.6	4192.5	9.4
3	48.6	1.34	25.5	0.355	3.6	10691.6	6224.2	4467.4	13.2
4	80.7	1.67	5.0	0.068	2.9	16097.9	12378.0	3719.9	19.0
5	41.8	1.26	10.5	0.136	1.2	9273.5	7060.3	2213.3	14.8
6	103.7	0.89	8.9	0.122	40.2	6750.5	4397.9	2352.6	15.5
7	74.2	1.03	8.1	0.196	1.5	6897.4	6007.6	889.9	21.1
8	171.1	1.27	7.9	1.115	3.1	9504.9	4984.8	4520.0	9.8
9	50.6	1.45	7.1	0.415	1.6	11816.7	9024.1	2792.7	14.2
10	105.8	0.98	6.8	0.261	47.1	8122.3	3596.8	4525.7	10.8
11	88.5	1.30	3.2	0.644	12.4	9731.1	7528.5	2202.6	9.7
12	124.4	0.90	11.6	0.454	35.5	6554.7	4111.8	2443.0	12.1
13	83.6	1.13	5.3	0.413	33.2	8366.4	5075.9	3290.5	11.2
14	133.3	1.32	10.8	0.522	2.6	10711.4	6412.8	4298.5	12.4
15	83.9	1.12	12.4	0.255	42.4	8577.7	4790.5	3787.2	10.9
	102.6	1.29	9.4	0.120	3.7				21.5
	158	1.32	5.9	0.185	0.6	7690.1	3351.2	4339.0	11.1
50		1.12	10.9			11291.8	10353.4	938.5	12.2
51	3.2				0.0	11307.6	8489.1	2818.6	10.8
52	47.9	1.38	4.8	0.303	7.9	7585.5	3224.7	4360.7	10.9
53	170.3	1.13	18.3	0.797	55.2	6599.7	3495.2	3104.6	13.6
54	129.2	0.98	17.3	0.415	47.5	8944.2	4305.9	4638.2	9.3
55	149.3	1.20	10.4	0.774	49.1	8569.5	2583.6	5986.0	10.2
56	36.2	1.21	18.8	0.249	69.9	8474.5	2866.6	5588.1	8.7
57	60.4	1.19	5.3	0.356	64.6	7999.2	2790.8	5208.4	10.1
58	89.2	1.14	12.1	0.460	59.6	6836.1	2319.3	4516.9	9.3
59	91.3	1.07	12.3	0.451	62.7	10269.8	6600.0	3669.7	12.3
60	89.7	1.30	10.3	0.461	29.1				

(注1) 1回あたりの平均火災発生件数

(注2) 鎮圧火災件数/火災発生件数×100

(注3) 消防力を運用しないときの火災1件あたりの60分後の焼失面積(S_p)(注4) 消防力を運用したときの火災1件あたりの60分後の焼失面積(S_f)(注5) $S_p - S_f$

(注6) 最寄の消防署所からの平均走行時間

り、ある地震を想定したときに、地域全体で24件の出火が予想されている。

この地域で、24件の同時多発火災を1,000通り発生させた場合の火災の発生と鎮圧状況は表1のようになった。

1回の平均をみると、鎮圧可能件数は、風速5m/sで9件、風速10m/sで5件となった。この地域は、現有の消防力ではかなりきびしいようである。

このシステムでは、計算結果を表2のように地区別に整理して、地区の評価も併せて行うことができる。さらに地区の評価結果を図4のような色分け地図として出力することも可能である。

(注1) 問題の複雑さや計算時間の制約等により、このモデルでは厳密な最適解(出動形態)は得られない。

(注2) 実際の地域における消防力評価を目的としたものではなく、システムのテスト運用的なものである。

参考文献 消防研究所「地震時における消防力運用の最適化に関する研究開発報告書」昭和61年3月

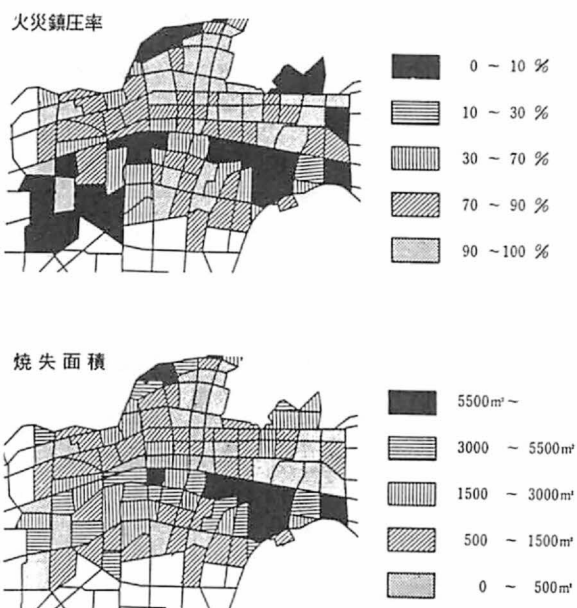


図4 地区別集計結果の図形出力

