

# 火災避難シミュレーション

渡辺一郎・福井隆文  
国立防災科学技術センター

## The Simulation of Refuge from Fire

By

I. Watanabe and T. Fukui

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

### Abstract

The authors could get some fairly good results about the simulation of the expanding and extinguishment of fires. Next, it is needed to simulate the refuge from fires. But it is very difficult because any knowledge or empirical facts for verifying the results of simulation have not been acquired. Especially in the cases where fires followed the earthquake, the human behaviors cannot be exactly forecasted.

And so, attempts have been done to make some assumptions about the human behaviors as follows:

- (1) People do not run away, unless the fire gets close to them.
- (2) People are unable to know exactly the wind direction and the situations in the distance.

By considering some other assumptions in addition to these basic human behaviors, the simulation program could be written. But it is supposed that without investigation of the values of various parameters any useful simulating results cannot be obtained.

### 1. はしがき

筆者らは、先に火災延焼消火シミュレーションを実施し、一応の成果を得た。<sup>(1)</sup>これまでの火災についての識者の考え方、経験にある程度一致する結果となったからである。筆者らの最終目的は、地震にともなう火災による被害について考えることであり、そのために次に避難の様子のシミュレーションを行わなければならない。しかし、火災の際の避難のシミュレーションは非常にむずかしい。なぜなら、結果を検証すべき知見や経験が非常に少ない。いや、考え方によっては、シミュレーションの結果が正しいかどうかは、実際に火災を発生させてみなければわからないとさえ言えるからである。特に、人間が地震に伴う火災に際してどのように考え、どのように行動するかは、あまりにも影響するファクターが多く、検証不可能といってもよい。

そこで、われわれは人間の二、三の行動のパタ

ーンをアプリアリに定め、その行動をシミュレートすることによって、「このような行動をすればこうなる」ということを知るというアプローチをとることとした。この報告では、われわれが定めた人間の行動の結果とそれに対する若干の考察を述べる。

### 2. 基本的考え方

対象とする区画をメッシュにわけ、メッシュの内部では種々のパラメータの値を一定にするという考え方は前の報告<sup>(1)</sup>と同じであり、火災の延焼と消火については前の報告の方法をそのまま用いることにした。

さて、地震にともなう火災の際の人間の行動をアプリアリに定めるとしても、それがあまりにも現実から離れているのは良くない。そこで次のような原則をまず定めることとした。

- (1) 火災が近づかなければ逃げない。

この原則は、これまでの地震に伴う火災、通常の火災を通じてよく経験されていることである。

(2) 一つのメッシュには無制限に人間は入れない。

これも当然である。さらにこの原則の拡張として、「すでに多くの人が逃げこんでいるメッシュへの流入速度は遅くなる」という原則も採用できるであろう。

(3) 火から速ざかるうとする。しかし速くの様子はわからない。近くの状況から、どのように逃げるかを判断する。

この原則は(1)の原則から派生するものである。火が近くなれば速くの様子はわからなくなり、したがって、まず火から速ざかることだけを考えることになる。

(4) 正確な風向を知ることはできない。

特に長時間にわたる大火であれば、基本的な風向は変化するであろうし、また火が近づけば局所的な風が発生することもよく経験されることである。したがって、風上に逃げれば安全だとわかっていても、そのように行動できないとするのが良いと思われる。

(5) すでに出火しているメッシュへ逃げることもある。

この原則は(3)と相反するが、実際には次のような点を考慮すれば、この原則も問題にしておかなければならぬ。

(i) メッシュ全体が一度に発火するわけではない。速くが見えないため、発火しているメッシュに入り込むこともある。

(ii) 混雑してくれば止むを得ず発火しているメッシュに入らなければならない。

(iii) 地震にともなう火災の場合には、数ヶ所から同時に発火するので、右往左往することであろう。

### 3. シミュレーションの方法

#### 3.1 避難

まず記号を定めておこう。

各メッシュの時刻  $t$  における人口  $X_t(i, j)$

各メッシュの制限人口  $XM(i, j)$

各メッシュからの避難速度 ( $X$  に対する割合)

$Y(i, j)$

各メッシュの燃焼の割合  $K_t(i, j)$

各メッシュの、避難者が入ることのできる最高

の燃焼の割合 (避難可能最小熱量)

$KMM(i, j)$

このほか、前の報告で使用した次のような記号はそのまゝ用いることにする。

各メッシュの延焼されやすさ  $L(i, j)$

各メッシュの消火能力  $D(i, j)$

各メッシュの高度  $H(i, j)$

$K$  におよぼすファクタ  $\alpha, \beta$

風速  $WS$

ここで、2. で述べた原則を上記の記号を用いて表現すると次のようになるであろう。

ルール(1)

$$K_t(i, j) > 0$$

なら (すなわち、すでに発火しているなら)、隣りの8ヶ所のメッシュのうち、

$$K_t(i_s, j_s) \leq KMM(i_s, j_s)$$

であり、しかも

$$X_t(i_s, j_s) < XM(i_s, j_s)$$

であるようなメッシュへ、それぞれ

$$\frac{(X_t(i, j) \cdot Y(i, j))}{n \cdot XX}$$

だけ避難する。ただし、 $n$  はこのとき避難できるメッシュの数であり、 $XX$  は

$$XX = 1.0 \quad X_t(i_s, j_s) \leq 1.0 \text{ のとき}$$

$XX = X_t(i_s, j_s) \quad X_t(i_s, j_s) > 1.0 \text{ のとき}$  である。

ルール(2)

$$K_t(i, j) = 0$$

のときは、隣りの8ヶ所のメッシュのうち、一個所でも

$$K_t(i_s, j_s) > 0$$

のものがあれば、ルール(1)と同じように避難が行なわれる。隣りのメッシュのすべてにおいて

$$K_t(i_s, j_s) = 0$$

であるなら、避難行動は行なわれない。

#### 3.2 被害

ここでは、被害として火災による死者だけを考えることにする。死者がどのくらいであるかというシミュレーションは、避難すなわち人間の行動の場合よりさらに取り扱いがむずかしい。

そこで、われわれは次のような簡単な原則にしたがうこととした。

(1)  $K$  がある程度大きくなると死者がでる。

(2)  $K$  の大きさにより死者の割合が決まる。

記号として

死者がではじめる燃焼の程度（死者発生熱量）

$$KM(i, j)$$

死亡の割合

$$Z(i, j)$$

t時刻までの死亡者の累計

$$S_t(i, j)$$

という三つを導入すると、上記の原則を次のように表現することができる。

ルール(3)

$$K_t(i, j) > KM(i, j)$$

となると、

$$S_{t+1}(i, j) = S_t(i, j) + X_t(i, j) \cdot K_t(i, j) \cdot Z(i, j)$$

$$X_{t+1}(i, j) = X_t(i, j) \cdot (1 - K_t(i, j) \cdot Z(i, j))$$

#### 4. 発火点一個所の場合

パラメータを変化させた場合のシミュレーションの結果の一部を図-1～図-3に示す。図-1は制限人口XMをすべてのメッシュについて同じとして、1.5と2.0と変化させた結果である。その他のパラメータの値を表-1に示しておく。（前報告で用いた値はそのまま使用した。）

図-2は制限人口XMをすべてのメッシュにつき2.0とし、避難可能最小熱量KMMを0.1から0.8まで（0.1きざみで）変化させた結果である。（他の値は表-1と同じ）

一方、図-3は避難速度Yなどをすべてのメッシュにおいて同じとし、表-2のように定めたとときの結果である。（他の値は表-1と同じである。）

これらの結果から次のようなことが言える。

(1) 制限人口XMの大きさは、結果にあまり影響しない。これは、避難速度Yを各メッシュにつき一定としたから、逃げ込んできた人と同じぐらい逃げ出すからである。（図-1）

(2) 避難可能最小熱量KMMの大きい方が死者が多い。

これも当然である。火は一個所で発火し燃えひろがっているのであるから、燃えているメッシュへ逃げるのは死にゆくようなものである。（図-2）

(3) このほか、図示しなかったが、避難速度Y、

避難速度 Y	0.9
避難可能最小熱量 KMM	0.0
死亡率 Z	0.8

表-2 図-3のパラメータ

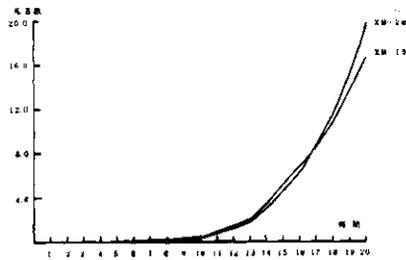


図-1 制限人口を変化させたとき

人 口 X	1.0
制限人口 XM	2.0
避難速度 Y	0.6
避難可能最小熱量 KMM	0.2
死者発生熱量 KM	0.3
死亡率 Z	0.4
延焼しやすさ L	1.0

表-1 図-1のパラメータの値

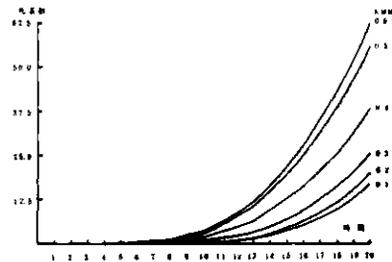


図-2 避難可能最小熱量を変化させたとき

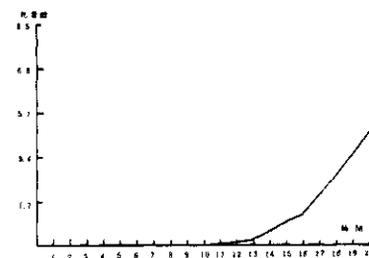


図-3 避難速度が大きいたとき

死者発生熱量 $KM$ が大きいほど、死亡率 $Z$ が小さいほど、死者が少ないという結果も得られる。

(4) 避難速度 $Y$ が大きく、死者発生熱量 $KM$ が大きく、避難可能最小熱量 $KMM$ が小さければ、死亡率 $Z$ が大きくても死者はほとんどでない。これは通常の単発火災のとき経験されることである。逃げるのが早く、逃げることができれば、死者はでないのである。(図-3)

以上のような結果が得られるのは、経験的に妥当な結果が得られるように原則を定めたのであるから当然のことであろう。

なお、図-1ないし図-3の横軸の時間の単位は、シミュレーションの計算の単位であるが、1目盛約30分と考えてよい。

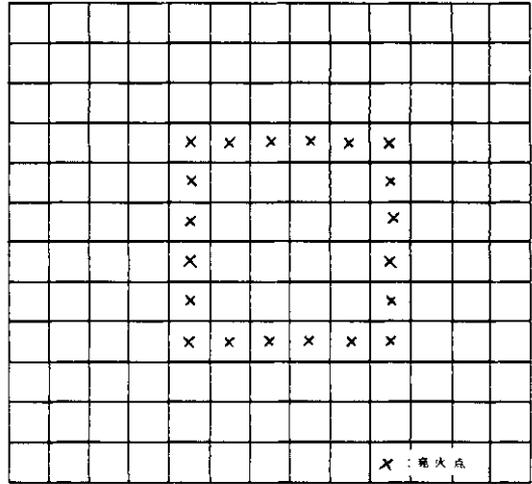


図-4 多数の発火点

### 5. 発火点が非常に多い場合

図-4のように発火点が多い極端な場合を考えてみよう。避難速度 $Y$ 、制限人口 $XM$ が大きく、死亡率 $Z$ が小さくても、避難可能最小熱量 $KMM$ が小さければ、火に囲まれた部分の人の死者数は大きい。(図-5)

川などのように制限人口 $XM$ が0である場所がある場合(図-6)も同じような結果になる(図-7)。なお、図-5と7の縦軸は、発火点(と川)に囲まれたメッシュ内の死者数であり、用いたパラメータの数値は表-3に示す。(ここに示していないパラメータについては表-1と同じである。)

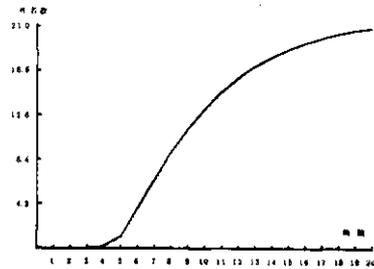


図-5 図-4の場合の死者数

制限人口 $XM$	3.0
避難速度 $Y$	0.9
死亡率 $Z$	0.3

表-3 図-5, 7のパラメータ

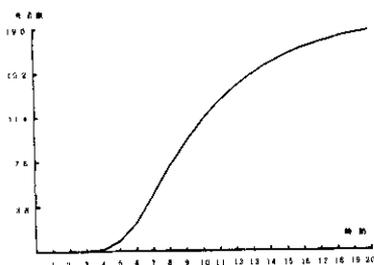


図-7 図-6の場合の死者数

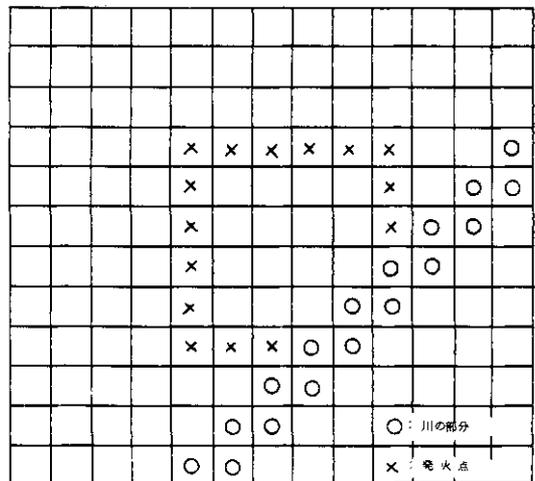


図-6 川の存在

## 6. シミュレーションの限界

前2項の4., 5.のような両極端の場合のシミュレーションの結果は、われわれの常識と一致する。すなわち、これらの結果はわれわれのシミュレーションの一つの検証となっている。

しかしながら、これをもってわれわれのプログラムが一般の場合のシミュレーションのため、ただちに用いられると、早急に結論をだしてはならない。シミュレーションの結果が正しいかどうかは、実際の火災と避難のデータとの照合によって始めて検証されるものであるからである。しかも、シミュレーションに用いる、 $L$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $Y$ などの値が、対象となっている地域においてどのようになっているかがわからなければ、正しい予測を行なうことはできない。ところが、このようなパラメータの実際の値はほとんど知られていないし、これを調査し知ることも、いまや非常にむずかしいことになっている。

シミュレーションが先か、データを調査し知ることが先か、議論のある所であるが、これまでいろいろとシミュレーションを行ってきた経験から考えると、データを正しく把握することなしには、一歩も先に進めないと感ずるのである。

さらに突っこんで考えるならば、道路が極端に狭く、空地率が0であり、木造家屋が建てこんでいて火災が発生しやすいにもかかわらず、消防車もは入れない地域がある、すなわち、シミュレー

ションを行なうまでもなく、被害が非常に大きくなるということがわかっている地域があるのに、いろいろな制約から、その地域の状況は少しも改善されず、かえって悪化しているという事実は、「被害予測シミュレーション」を行なうこと自体に対して、大きな疑問を投げかけるものではなからうか。

## 参考文献

- 1) 渡辺・福井(1973): 火災延焼消火シミュレーション, 防災科学技術総合研究報告, 第31号, 大震時における都市防災に関する研究, 77-83