

# 大規模震災における救出活動に関する考察

角 知憲<sup>1</sup>・古川 準<sup>2</sup>・松永千晶<sup>3</sup>・大枝良直<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

<sup>2</sup>正会員 工修 島根県庁 (〒690-8501 島根県松江市殿町1)

<sup>3</sup>正会員 工修 九州大学大学院助手 工学研究院環境都市部門 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

<sup>4</sup>正会員 工博 九州大学大学院助教授 工学研究院環境都市部門 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

本稿は、大規模震災による被災者を急速に救出するための技術的手段の効率を表すモデルを作成し、救出活動に対する技術的な備えのありかたを考察したものである。提案したモデルは、救出活動の速度と被災者の発見確率という二つの要因のみを考慮した基礎的なものであるが、阪神大震災における神戸市の消防緒隊の活動履歴に適用した結果、モデルがこの履歴をほぼ再現すること、阪神大震災に際して見られた程度の勢力が集中されるならば、搜索や救出の速度を向上することよりも被災者の発見確率を上げることが、急速な救出に効果的である可能性を示した。このモデルは現時点で定量的な知見を引き出すには十分では無いが、救出活動の技術的手段の整備のため、一定の示唆を与えるものであるといえる。

*Key Words: large scale disasters, quick response, rescue activities*

## 1. はじめに

1995年1月17日未明に発生した阪神大震災では、主として倒壊した建築物の下敷きとなって、6,400人を超える死者が生じた。この死者は、地震の発生と同時に生じたもので<sup>1)</sup>、被災後の救助活動によって救えたものはほとんどないという見方もあるが<sup>2)</sup>、一般には、倒壊した建物の下にはある確率で生存者が存在し、急速な救出によって死を免れ得るものと考えられている<sup>3)</sup>。可能な限り急速な救出活動を実行するためには、救助隊やその装備や施設といったハードウェアと、訓練や活動の統制などソフトウェアの両方を適切に準備することが必要である。

ここでいう救出活動は、災害対策基本法や災害救助法などによって規定される応急対応の一部で、防災基本計画や地方の防災計画において詳細に規定されているものの<sup>4)</sup>、具体的な対応は消防や医療などの専門組織に個別に委ねられる部分が多く<sup>5)</sup>など、緊急避難や防災活動のシミュレーション<sup>6), 7), 8)</sup>など、災害情報の収集と活用などに関する研究<sup>9), 10)</sup>が、相当程度行われてきてはいるが、技術的な面に踏み込んで救出活動自体を系統的に扱う研

究はほとんどない。一方、これまで災害時の応急活動の拠点や施設の適正な配置の問題が、被災地と活動拠点や防災施設との距離や移動速度、信頼性などの観点から取り上げられてきた<sup>11)~14)</sup>など。さらに、被災による移動の困難性を考慮する研究もある<sup>15)</sup>。今のところ本研究で取り上げる救出活動は、これらの拠点配置や移動速度の研究と直接の関連は無い。しかし、本研究のような視点から救出活動の速度や質に関する経験的・定量的知見が蓄積されて、限られる人的・物的資源をより効果的に使用する効率的な装備や体制を用意しておくことが可能になれば、活動拠点・施設の適正配置問題にも、その知見を活用することが期待されるものである。

本稿は、救出活動のための効率的な技術的手段を見いだすため、救出活動の技術指標に関する基本的な考察を試みるものである。

## 2. 救出活動のモデル

### (1) 救出活動の位相

地震などの災害によって、被災現場に閉じこめられ

- た人の救助活動は、時間的な流れに沿って、
- ①被災者を捜索し、発見し、現場から解放する活動、
  - ②被災者を適当な医療施設へ搬送する活動、
  - ③加療する活動、

に分けて考えることができる。もちろん、この三つは、時間的に空間的に、あるいは活動する人員の面で、常に明確に区別されるものではないが、機能の面では区別され得るであろう。ちなみに防災白書では「救出活動」と「応急医療活動」に二分されている<sup>16</sup>。また、消防関係者では、医療活動を除いて「救助活動」と「救急活動」に分けることがある<sup>17</sup>。本稿では、この3段階の活動のうち、最初のものを取り扱うこととして、これを救出活動と呼ぶ。救出活動もまた、①捜索・発見と②収容に分けて考えることができる。捜索とは、救出隊が被災者を探索しつつ移動することを意味し、探索手段と移動手段の二つの技術的要素を含む。また、収容とは被災者を被災現場から解放することで、これはまたその作業手段に応じた別の技術的要素を持つ。したがって、本来、これら技術要素の質や速度を個別に考慮することが望ましいが、探索と捜索のための移動とは同時に行われて相互に関連があるし、収容作業もまた探索チームにより発見に続いて実行されることが少なくない。さらになによりも、目下のところ、これらの技術要素の特性を個別に表す十分な経験的データは入手不可能である。そこで、以下では、活動の質として被災者の発見・救出確率と、探索・移動・収容を通じた速度という2つの要因を用いて救出活動を記述し、将来、より精密なモデルを組み立てるための基礎とすることを試みる。

## (2) モデル

2000年1月17日のNHK震災5周年特別放送では、倒壊した建物から救出された被災者の経験を取り上げていた<sup>18</sup>。この放送では、消防や警察、自衛隊が、それぞれ一定の被災地域を分担して救助活動に当たったことが報じられていた。大規模災害では、広範囲に多数の救助チームが無統制に投入され混乱することを避けるために、このような作業分担方式が採用されるものと考えられる。いま、平均的に救助隊1隊が分担する被災地域の面積を $S_0$  (m<sup>2</sup>)、この面積内の初期の要救出被災者数の期待値を $N_0$  (人)、また、初期の平均面積当たり要救出者数 $R_0$  (人/m<sup>2</sup>)とする。すなわち、

$$R_0 = N_0 / S_0 \quad (1)$$

である。図-1に示すように、救助隊は、単位時間(たとえば1日)ごとに拠点 $B$ から出動して活動し、単位時間終了後拠点に帰還する行動を反復するものとする。その捜索速度(すでに述べたように、移動・探索・救出の

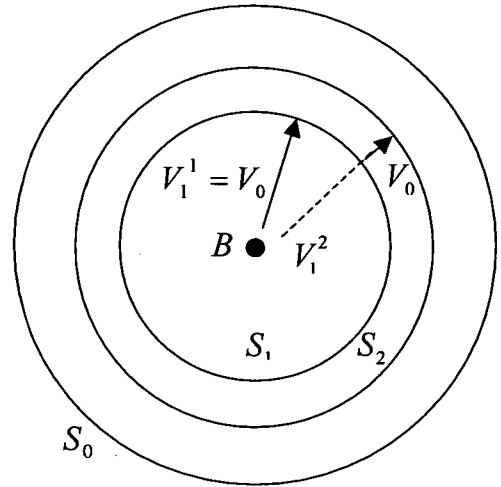


図-1 捜索領域と捜索速度

すべての所要時間を考慮した平均的な面積速度である)を $V_j^i$ (たとえばm<sup>2</sup>/日)とする。上添字 $i$ は第 $i$ 捜索時間単位(以下、日とする)の捜索活動であることを表し、下添字 $j$ は第 $j$ 日に始めて捜索した領域であることを示す。 $V_j^i$ は被災の程度や要救出者数そのものによって変化するであろう。一方で、被災の程度とは無関係な上限値が存在するであろう。そこで、被災の程度を平均面積当たり要救出者数で代表することにして、

$$V_j^i = \min[K(R_j^i)^a, V_{\max}] \quad (2)$$

とする。ここに、 $K$ :速度係数、 $a$ :速度パラメータ、 $R_j^i$ :平均面積当たり要救出者数(人/m<sup>2</sup>)、 $V_{\max}$ :速度上限値、である。救出がおこなわれた結果として次の捜索速度が上昇することを想定すれば、 $K$ の符号は正、 $a$ の符号は負である。図-2は、救出活動の進め方を概念的に示したものである。根拠地 $B$ を出発した救助隊の第1日めの捜索速度 $V_1^1$ が、第1日めの要救出者密度 $R_1^1 = R_0$ の関数として式(2)から決まる値 $V_0$ を取ることで、その日の捜索面積が $S_1$ であること、第2日めには、図中の破線で表されるように、すでに一度捜索された領域 $S_1$ において前日の救出活動の結果として捜索速度が増加すること、そのため当日新たな領域の捜索に当てることができる時間が生じて、その外方に $S_2$ が作られることを表している。

前日までの救出活動によって捜索速度が増加したため当日新たな領域の捜索に当てることができる時間を $t$ とする。捜索時間 $t$ の間に捜索できる面積 $S_j^t$ および、この領域にある要救出者数期待値 $N_j^t$ は、次のように与えられる。

$$S_j^i = V_j^i t \quad (3)$$

$$N_j^i = R_j^i S_j^i \quad (4)$$

被災者一人を発見・救出する確率は一定であるものとし、 $Q_0$ と与える。すると、 $S_j^i$ で救出される被災者数の期待値 $q_j^i$ は、

$$q_j^i = Q_0 R_j^i S_j^i \quad (5)$$

となる。救出活動は、1日一定時間活動しては引き上げるが、前日に検索したエリアでは速度が上がるので1日ごとに外方に検索エリアが広がって、第 $n$ 日に上限 $S_0$ に達するものとする。すなわち、

$$S_0 = \sum_{i=1}^n S_i \quad (6)$$

である。このとき、 $S_0$ に到達した後も、その日の検索時間が有意に残ることがある。そこで、その残り時間は検索領域の境界から折り返して検索を継続するものとする。この時、折り返し検索が第 $n$ 検索領域をカバーできない場合と、それを超えてさらに第 $n-1$ 領域に及ぶ場合があるが、カバーできる場合には単なる繰り返し検索として取り扱い、カバーできない場合には、簡単のため、改めて領域を区切りなおすことはせず、部分的再検索効果を領域全体に換算することにする、第 $n+1$ 日以後においては、この種の折り返しが常に発生する。具体的な方法は後に述べる。

時間を追った計算は、以下のようなものである。

#### a) 第1日目の活動

$$\text{検索速度 } V_1^1 = K [R_1^1]^a \equiv V_0 \quad (7)$$

$$\text{検索エリア } S_1 = V_1^1 \times 1 \quad (8)$$

$$\text{\$1内検索時間 } t_1^1 = 1 \quad (9)$$

$$\text{面積あたり救出確率 } P_1^1 = Q_0 R_1^1 = Q_0 R_0 \quad (10)$$

$$\text{\$1内被救出者期待値 } q_1^1 = P_1^1 S_1 \quad (11)$$

$$\text{全領域救出者期待値 } q_T^1 = q_1^1 \quad (12)$$

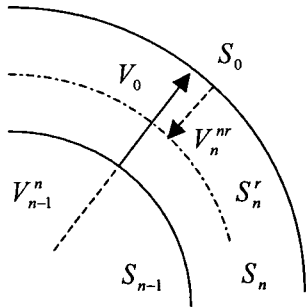


図-2 境界での折り返し検索

#### b) 第2日目の活動

##### i) \\$1内

$$\text{検索速度 } V_1^2 = \min[K(R_1^2)^a, V_{\max}] \quad (13)$$

$$\text{面積あたり被災者数 } R_1^2 = R_1^1 [1 - Q_0] \quad (14)$$

$$\text{\$1内検索時間 } t_1^2 = S_1 / V_1^1 \quad (15)$$

$$\text{面積あたり救出確率 } P_1^2 = Q_0 R_1^2 \quad (16)$$

$$\text{\$1内被救出者期待値 } q_1^2 = P_1^2 S_1 \quad (17)$$

##### ii) \\$1外方の\\$2

$$\text{検索速度 } V_2^2 = V_1^1 = V_0 \quad (18)$$

$$\text{面積あたり被災者数 } R_2^2 = R_1^1 = R_0 \quad (19)$$

$$\text{エリア } S_2 \text{内検索時間 } t_2^2 = 1 - t_1^2 \quad (20)$$

$$\text{検索エリア } S_2 = V_2^2 t_2^2 \quad (21)$$

$$\text{面積あたり救出確率 } P_2^2 = Q_0 R_2^2 \quad (22)$$

$$\text{\$2内被救出者期待値 } q_2^2 = P_2^2 S_2 \quad (23)$$

$$\text{検索延べ面積 } S_T = S_1 + S_2 \quad (24)$$

$$\text{全領域被救出者期待値 } q_T^2 = q_1^2 + q_2^2 \quad (25)$$

#### c) 第 $m$ 日目の活動 ( $m < n$ )

##### i) $S_j$ 内 ( $j < m$ )

$$\text{検索速度 } V_j^m = \min[K(R_j^m)^a, V_{\max}] \quad (26)$$

$$\text{面積あたり被災者数 } R_j^m = [1 - Q_0] R_j^{m-1} \quad (27)$$

$$\text{エリア } S_j \text{内検索時間 } t_j^m = S_j / V_j^m \quad (28)$$

$$\text{面積あたり救出確率 } P_j^m = Q_0 R_j^m \quad (29)$$

$$\text{\$j内被救出者 } q_j^m = P_j^m S_j \quad (30)$$

##### ii) $S_m$ 内

$$\text{検索速度 } V_m^m = V_0 \quad (31)$$

$$\text{面積あたり被災者数 } R_m^m = R_0 \quad (32)$$

$$\text{エリア } S_m \text{内検索可能時間 } t_m^m = 1 - \sum_{k=1}^{m-1} t_k^m \quad (33)$$

$$\text{検索エリア } S_m = V_m^m t_m^m \quad (34)$$

$$\text{面積あたり救出確率 } P_m^m = Q_0 R_m^m \quad (35)$$

$$\text{\$m内被救出期待値 } q_m^m = P_m^m S_m \quad (36)$$

第 $m$ 日における延べ検索面積および全領域被救出者期待値は、それぞれ次のとおり与えられる。

$$S_{Tm} = \sum_{j=1}^m S_j^m \quad (37)$$

$$q_T^m = \sum_{j=1}^m q_j^m \quad (38)$$

#### d) 第 $n$ 日目の活動

##### i) $S_j$ 内 ( $j < n$ )

上記(26)～(36)と同じ。

##### ii) $S_n$ 内

ここでは、折り返し検索が行われることがある。図-2を参照する。いま、第二の上添字1で一度目の検索であることを表すと、

$$\text{検索速度 } V_n^{n1} = V_0 \quad (39)$$

$$\text{面積当たり被災者数 } R_n^{n1} = R_0 \quad (40)$$

$$\text{面積あたり救出確率 } P_n^{n1} = Q_0 R_n^{n1} \quad (41)$$

である。ここで、エリア  $S_n$  内検索可能時間は、

$$t_n^n = 1 - \sum_{j=1}^{n-1} t_j^n \quad (42)$$

であるが、 $S_n$  は、

$$S_n = S_0 - \sum_{j=1}^{n-1} S_j \quad (43)$$

であるから、検索エリア  $S_n$  の一度目の検索にかかる時間  $t_{n0}^n$  は次のように与えられる。

$$t_{n0}^n = S_n / V_n^n \quad (44)$$

これと検索可能時間との差  $\Delta t_n^n$  が折り返し検索時間である。

$$\Delta t_n^n = t_n^n - t_{n0}^n \quad (45)$$

折り返しの検索速度は、次のように与える。

$$V_n^{nr} = \min[K(R_n^{nr})^a, V_{\max}] \quad (46)$$

$$R_n^{nr} = [1 - Q_0] R_n^{n1} \quad (47)$$

ここに、第二の上添字  $r$  は折り返しを表す。

したがって、折り返し検索面積は、

$$S_n^r = V_n^{nr} \Delta t_n^n \quad (48)$$

である。図-2中の一点鎖線は、折り返し検索の境界を概念的に表したものである。この検索面積が図のように  $S_n$  より小さい場合は、前に述べたように次日の計算を簡易に行うため、面積平均を取ることにして、式(47)を用いた救出確率に  $S_n$  との面積比を用い、面積あたり折り返し救出確率を次のようにおく。

$$P_n^{nr} = Q_0 R_n^{nr} S_n^r / S_n \quad (49)$$

$S_n^r$  が  $S_n$  より大きい場合は、

$$S_{n-1}^r = S_n^r - S_n \quad (50)$$

とおいて  $S_{n-1}^r$  に(49)と同様の計算を行う一方、 $S_n$  に対しては、式(49)の  $S_n^r = S_n$  とおく。もし  $S_{n-1}^r$  に対して同様のことが起これば、さらにこれを繰り返す。

結局、折り返しを考慮すると、面積あたり救出確率は次のように与えられる。

$$P_m^n = P_m^{n1} + P_m^{nr} \quad (m \leq n) \quad (51)$$

これに対応して、次のような修正を行う。

$$R_m^n = R_m^{n1} (1 - S_m^r / S_m) - R_m^{nr} (S_m^r / S_m) \quad (52)$$

ただ、検索速度については、繰り返し検索回数異なる領域について平均すべきは検索時間であるという観点から、検索速度の逆数について次のような計算を行う。

$$V_m^n = 1 / [(1/V_m^{n1})(1 - S_m^r / S_m) - (1/V_m^{nr})(S_m^r / S_m)] \quad (53)$$

結局、折り返し分修正を含めて、 $S_n$  内被災者期待値は次のとおりである。

$$q_m^n = P_m^n S_m \quad (m \leq n) \quad (54)$$

e) 第  $n+1$  日目以後の活動

i)  $S_k$  内 ( $k < n$ )

上記(26)~(36)と同じ。

ii)  $S_n$  から折り返し

上記(42)~(54)と同じ。

最終的に、第  $n$  日目以後も含めて第  $k$  日について全領域被災者期待値は次のように与えられる。

$$q_T^k = \sum_{j=1}^n q_j^k \quad (55)$$

### 3. 阪神大震災へのモデルの適用

モデルの適用性を確認するため、阪神大震災における消防活動の記録を基に、神戸市消防局が行った救出活動にモデルを適用して、パラメータを推定してみた。この際、各消防署のおかれた状況や救出活動の実態がまちまちであると考えられるにも関わらず、詳細な情報が把握できないので、各消防署の置かれた平均的状況下に平均的活動を考慮することとして以下のような方法を採用した。

モデルは、 $S_0$ 、 $R_0$ 、 $V_0$ 、 $V_{\max}$ 、 $Q_0$ 、 $K$ 、および  $a$  を与えて  $q_j^k$  を計算する構造を持っているが、ここでは  $S_0$ 、 $R_0$ 、 $V_{\max}$  を次のような方法で与えて、 $q_j^k$  の観測値を再現するように  $Q_0$ 、 $K$ 、 $a$  を推定する。これはある意味で、モデルを用いて神戸市消防隊の  $Q_0$ 、 $K$ 、 $a$  を測定する試みでもある。

まず、面積当たりの被災者数の初期値  $R_0$  は、正規化して取り扱うこととして  $R_0 = 1$  とする。計算終了後、全被災者数をかければ、日別被災者数に換算できる。また、検索エリアの上限  $S_0$  も正規化して  $S_0 = 1$  とする。ここでも、対象となる救出活動地域の面積を消防署数で割った平均担当面積を用いれば、実面積に換算できる。救出速度  $V$  は  $S_0$  に対する比として定義する。このようにおけば、式(7)に  $R_1 = R_0 = 1$  を代入することによって  $K = V_0$  と

なることから、初期救出速度  $V_0$  は  $K$  と同時に推定されることになる。上限値  $V_{\max}$  についてもデータはないが、救助隊が1日に何度も拠点を出入りすることは無さそう

であるから、当面2.0とおく。これは、搜索しながら担当領域をちょうど1日で往復する速度である。

パラメータ推定の方法としては、 $K$ 、 $a$ 、 $Q_0$ に任意の初期値を与えて式(54)を計算し、実績値との2乗誤差を積算して、これを最小化するようにパラメータ $K$ 、 $a$ 、 $Q_0$ を逐次修正していく摂動法を採用した。すなわち、

$$SE \rightarrow \min. \quad (55)$$

$$SE = \sum_{j=1}^n (q_j^k - \tilde{q}_j^k)^2 \quad (56)$$

である。ここに、 $\tilde{q}_j^k$ は、 $q_j^k$ に対応する観測値であり、記録された被救出者数の日変化を被救出者の全数で正規化して得られる。モデルの適用結果を実測値とともに図-3に示す。この図は、文献<sup>1)</sup>に掲げられた日別救助人員状況の図に対して、生死を区別することなく適用した結果である。この程度の情報に以上の計算を適用して、きわめて厳密な推定値が得られるわけではないが、この時推定されたパラメータは、それぞれ、 $K=0.886$ 、 $a=-0.788$ 、 $Q_0=0.320$ であった。このような計算は、初期値の設定に依存して異なった収束値が得られるうえ、いくつかの収束値を比較して画然と最適な推定値が見いだせるわけではないので、得られた数値の信頼性は大きくないと考えられるが、図-3の推定結果は、被救出者

1885人について自由度5の $\lambda^2$ 検定によれば、計算結果の観測値に対する適合度はほぼ0.5%で、計算値は観測値を比較的よく再現していると言える。ところで、先に述べたように、各消防署のおかれた状況や救出活動の実態がまちまちであるためか、この文献の他の箇所に記述された消防署ごとの救出者数を集計すると、この図とは異なった数値が得られる。また、神戸市の全消防署のうち4署は、2日目以降の救出者数がゼロで初日のそれも極めて少ない。これらの消防署の要員は他署への応援に回ったなどの可能性もある。そこで、これらの4署をのぞく7署の実績の合計値に対して、同様の計算を行った。結果を図-4に示す。ここで得られたパラメータは、それぞれ $K=0.801$ 、 $a=-0.905$ 、 $Q_0=0.297$ であった。この場合の適合度は、被救出者数1340人に対する前と同様の自由度6の検定によれば4%を超える。

推定されたパラメータは、それぞれの観測値の相違に対応する相違を見せているが、いずれにせよ、 $K$  ( $=V_0$ )が $S_0$  ( $=1$ )に対して0.8、あるいは0.9という数値をとるように、初期搜索速度は、各署の分担した活動領域の過半を1日で搜索する速度を持っていた(あるいは、救助隊の割り当てられた搜索領域が搜索能力に比べてそれほど大きくない広さであった)こと、さらに、救出活動の速度は、いずれ上限値に達するので数値の信頼性は劣るものの、被災者密度の0.8~0.9乗に比例した、すなわち反比例に近かったこと、また、発見救出確率は0.3の程度であったことが推測される。

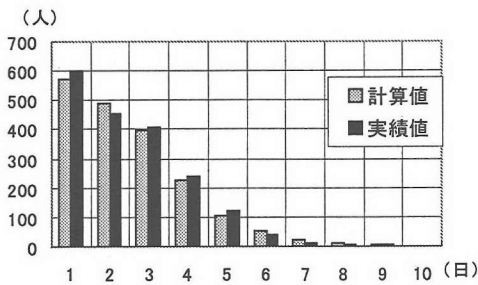


図-3 神戸市消防局による救出者数推移

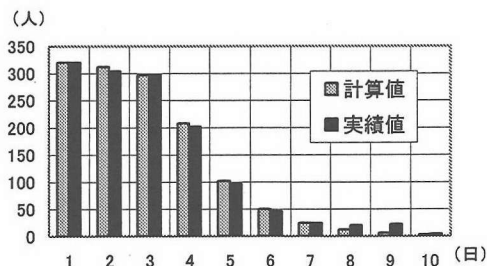


図-4 主要7署による救出者数推移

#### 4. 救出活動改善の技術的方策に関する検討

以上の推定が、阪神大震災における消防隊の活動結果をおおむね表現していると考えてよいなら、消防隊の活動は比較的迅速であった一方、被災者の発見確率はまだ十分でない印象を受ける。さきに述べた文献<sup>3)</sup>に示されるとおり、早期に救出されるほど生存率は大きくなる。ここでは、発見・救出確率と救出活動の速度という2つの技術的要因のうち、どちらがより早期被救出者を増大させることができるかという見地から、 $K$ と $Q_0$ および $V_{max}$ に関するパラメトリックスタディを試みる。図-4の計算結果に対して、速度係数 $K$ を固定して被災者発見救出確率 $Q_0$ を変化させた場合の計算を図-5に、その反対に $Q_0$ を固定して $K$ を変化させた場合を図-6に、それぞれ示す。両図を比較すると、図-5の方がより敏感に早期被救出者数を変化させることがわかる。もちろん、この事実は技術的な難易度やコストなどと直接対照されるものではなく、定量的に確実な評価が可能なものでもない。しかし、実際には捜

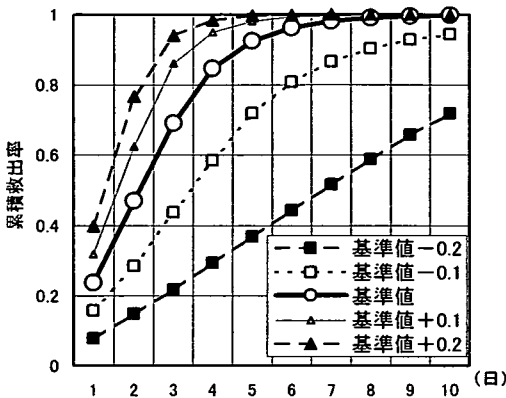


図-5 発見率に関する感度

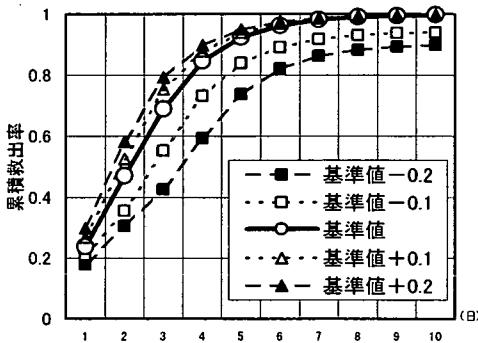


図-6 速度係数に関する感度

索隊員の五感に頼ることが多かったと伝えられる発見確率の推定値 0.3 は、決して十分大きいと考えられるものではないし、一般に比較的低い技術的性能を有意に向上させる方策の開発は比較的に容易であることが多いことを考えれば、阪神大震災の程度の救出部隊が動員される場合には、その動員速度や要員数をさらに向上する努力よりも、被災者発見・救出確率を向上する努力、すなわち被災者の探知のための技術的改善が効果的である可能性を示唆するといえよう。ちなみに、阪神大震災に際して、災害救助法の指定を受けたのは 10 市 10 町、面積 1,657.6km<sup>2</sup> であった<sup>10)</sup>。このうち神戸市域は 541.5 km<sup>2</sup> であるが、濃密な救助活動の対象となったのは、この全域ではなく一部であると考えられる。その面積は明確ではないが、たとえば平成 7 年 2 月に施行された神戸市震災復興緊急整備条例により復興促進地域に指定された面積はほぼ 58.9 km<sup>2</sup>、うち重点復興地域 12.3 km<sup>2</sup> 程度である。おそらく、被害が甚大であった地域と復興促進あるいは重点復興の指定とは重なるであろうから、消防隊が発災当日から連日大量の隊員を動員して救助活動を繰り返したのも、この程度の領域であろう。この領域に対し

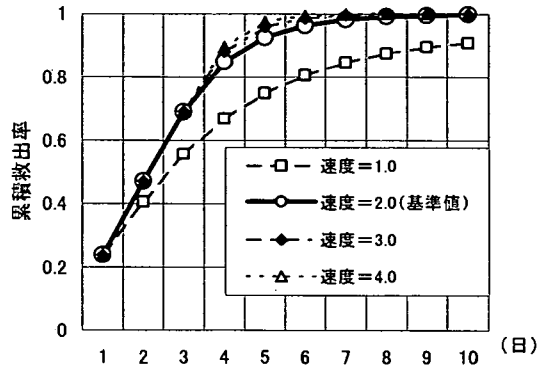


図-7 最終搜索速度に関する感度

て、消防隊は発災当時 305 名が勤務していたが、非常召集を受けて当日昼頃には 1,329 名が活動するにいたっている。また、同じ頃から他都市の応援隊も到着し始めており、当日夜には消防隊員総数約 2,200 名、2 日目以降 8 日目まで連日 3,000 名を超える消防隊員が、おそらく発災当日から参加した約 3,000 名の消防団員とともに活動した。このほか、実働勢力の詳細はつまびらかでないが消防隊員に劣らぬ数の警察官、および参加の時期がやや遅れたものの、神戸市以外の領域も含む全域で約 3 ヶ月間の日平均動員数 2 万 2 千余名といわれる自衛隊員の相当数が、現地の住民やボランティアの一部とともに救助活動に参加したことは確実である。

図-7 には、 $V_{max}$  に関するパラメトリックスタディの結果を示す。この数値は、救助隊が 1 日中活動を続けるものと仮定して 2.0 とおいたが、もしこれがより小さい場合にはかなりの変化をするものの、使用した数値より大きい方へは大きな感度を持たないことがわかる。

## 5. 考察と結論

本稿は、被災者の発見・救出確率と、探索・移動・収容を通じた速度という 2 つの技術的要因を用いて救出活動の効率を記述するモデルを提案し、これを用いて救出活動に対する備えのありかたを考察したものである。このモデルを阪神大震災における神戸市消防局の活動成果にあてはめた結果からは、救助隊の活動は比較的迅速なものであったと見られる一方、被災者の発見・検知にはまだ改善の余地が少なくないと考えられる。すでに述べたように、救出活動は、①探索・発見と②収容に分けて考えることができるし、探索と発見とは個別技術的にさらに区別して取り扱われるべきであろう。したがって、本来なら、これらの活動に用いられるさまざまな技術的手段の各々の速度と精度を表す経験的なデータに基づい

て、救出活動の効率を与えるモデルを作成することが必要である。しかし、用いられるさまざまな技術的手段の速度と精度には、さまざまな要因が影響するはずであるにもかかわらず、緊急の活動に際して、それら要因を活動の成果と併せて記録することは容易ではなく、おそらく現状では、十分な利用可能なデータは存在しないものと考えられる。

本稿で提案したモデルは、数日間にわたる活動経緯の集計的な記録のみに基づいて構成された簡易なもので、阪神大震災で行われた救助活動の経緯をおおまかに再現したに過ぎず、そこから厳密な知見は引き出し得ないが、救助活動に適用される技術的手段の速度と精度のバランスを考慮する上で、一定の示唆を与えるものであると考える。

今後予想される他の地方における大震災と比べて、阪神大震災では、被災の程度は激甚であったが、被災面積は比較的限られていたといえよう。したがって、救助活動は比較的高い密度で行われたものと考えられる。もし、今後の災害が、より広い面積で発生するとしたら、救助要員の急速な投入や活動の機械化など、速度要因の増強の努力はやはり必要とされるであろう。いま災害に備えて実施されつつある対策のいくつか、たとえば救助隊員の緊急動員指定や救急機材の機械化、あるいは機材の事前配置などは、いずれも救出速度を向上する効果を持つことになる。その有用性が無視されるものではないが、一方で、ある程度高い密度で救出要員を動員できる可能性が確保されるなら、「さらに多数の要員を求める方策」よりも、「被災者の発見確率を高める方策」が、さらに効果的なものとなるということもできよう。「被災者の発見確率を高める方策」とは、たとえば生存者の存在を検出するリモートセンサーを開発装備すること、あるいは人よりもはるかに鋭敏な知覚を持つと言われる災害救助犬を増強することなどである。また、前に述べたNHKの放送によれば、救助隊員の接近を検知した被災者が救援の合図を送ったにも関わらず見過ごされてしまったことがあるという。これには、救助隊員が自身の五感以外のセンサーを持たなかったこととともに、上空を飛び回るヘリコプターの騒音が障碍になったと報告されている。ヘリコプターの飛行管制を的確に行う必要性は別の面からも指摘されているが、このような観点からの考慮も必要であろう。

本稿で提案したモデルは基礎的なもので、救出活動の実態や各種装備の性能・効率などを個々に考慮しておらず、救出活動の効率化のための具体的な方策を定量的に論じるには不足である。本来、ここで提案したようなモデルは、いくつかの技術手段と人的組織を組み合わせた1セットのチームについて、個別的に適用すべきモデ

ルであると考えられる。今後、より緻密なデータを用いて技術的要素と明示的に対照可能な分析を行うなど、ここで提案したモデルの枠組みに沿って個別技術に関するデータの蓄積を図るとともに、個別技術の位置づけを可能とするような研究の推進が望まれる。

## 参考文献

- 1) 西村明儒, 井尻巖, 上野易弘, 小川裕美, 龍野嘉紹, 種子島章男, 羽竹勝彦, 菱田繁, 福永龍繁, 藤原敏, 溝井泰彦, 山本健二: 被災死亡者の死体検案結果, 外科治療, Vol.73, No.5, pp.551-558, 永井書店, 1995.
- 2) 木学会関西支部の「大震災に学ぶ」第II巻第7編 p43(1998)は、「神戸市での死亡例3,621体の検視結果では、犠牲者の96.3%は震災発生後の15分間以内に死亡しており、病院での死亡は3%に過ぎないとされている。このことは、今回の人命救助では、助け出せるものはほとんどすべてを救出できた可能性を示唆している。」と述べ、その功を被災者自身の救助活動に帰しているように見える。
- 3) 吉井博明: 都市防災, p31, 講談社現代新書1332, 1996.
- 4) 中央防災会議, 国土庁防災局: 防災基本計画(平成7年7月), 1995.
- 5) 日本救急医学会災害医療検討委員会: 救急医療の試練 阪神淡路大震災, メディカ出版, 1995.
- 6) 糸井川栄一, 梶 秀樹: 延焼シミュレーションと群衆避難誘導, オペレーションズ・リサーチ1993年1月号, pp.13-16, 1993.
- 7) 小林恭一: 火災対策とシミュレーションゲーム, オペレーションズ・リサーチ1993年1月号, pp.16-23, 1993.
- 8) 清野純史, 三浦房紀, 八木宏晃: 個別要素法を用いた避難行動シミュレーション, 土木学会論文集, No.591/I-42, pp.365-378, 1998.
- 9) 岡田成幸: 地震防災における意志決定, オペレーションズ・リサーチ1998年6月号, pp.316-323, 1998.
- 10) 能島暢呂, 杉戸真太, 金澤伸治: 被害情報の逐次処理による地震時緊急対応の意志決定支援モデル, 土木学会論文集, No.682/I-56, pp.129-142, 2001.
- 11) Kuroda, K., Nagao, Y., Yasuno, K. and Namba, Y.: DECISION THEORETIC APPROACH TO PLANNING OF ASEISMIC FIRE CISTERNS, 土木学会論文集, No.353/IV-2, pp.119-129, 1985.
- 12) 保野健治郎, 難波義郎, 大森豊裕: 市街地の建物火災に対応した消防水利計画に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第425号/IV-14, pp.145-154, 1991.
- 13) 村上正浩, 鶴 心治, 日高圭一郎: 耐震性貯水槽の最適配置に基づいたアクセス経路の評価手法に関する研究—木造密集市街地におけるケーススタディを通じて—, 都市計画別冊1998/No.33, pp.823-828, 1998.
- 14) 高山純一, 黒田昌生: 火災出火地点への消防車の走行時

- 間信頼性からみた消防力評価に関する研究, 都市計画別冊1999/No.34, pp.709-714, 1999.
- 15) 家田仁, 上西周子, 猪俣隆行, 鈴木忠徳: 阪神大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能的障害とその影響, 土木学会論文集, 第576号/IV-37, pp.69-82, 1997.
- 16) 国土庁: 平成7年版防災白書, p.34, p.35, 1995.
- 17) 神戸市消防局: 阪神・淡路大震災における消防活動の記録[神戸市域], p.20, 1995
- 18) NHK: NHKスペシャル「阪神大震災5年③震度7の衝撃・都市をどう守るか」, テレビ放送, 1995.
- 19) 神戸市: 神戸市復興計画, 1995.
- (2002. 4. 8 受付)

## ON QUICK RESCUE ACTIVITIES IN CASE OF LARGE EARTHQUAKE DISASTER

Tomonori SUMI, Jun FURUKAWA, Chiaki MATSUNAGA and Yoshinao OHEDA

The paper proposes a model to describe the technical effectiveness of rescue activities in case of large-scale earthquakes in order to suggest the efficient equipment for quicker response. The model employs two factors which represent the speed of searching victims captured in the destroyed structures and the accuracy of detecting them. The model was applied to the data of relieved victims of the Hanshin Great Earthquake. And provided a reasonable reproduction of the data. Parametric studies concerning to the two factors suggested that increasing the accuracy of detection may be more effective than increasing the speed of search if the two are as given for the Hanshin earthquake.