

# 人間活動時空間分布に着目した大規模災害時の被害ポテンシャル評価に関する研究\*

## Evaluation of Potential Loss Caused by a Large Scale Disaster Based on Spatial- Temporal Distribution of Human Activity \*

梶谷 義雄\*\* , 本久 仁美\*\*\* , 多々納 裕一\*\*\*\*; 岡田 憲夫 \*\*\*\*

By Yoshio KAJITANI \*\*, Hitomi MOTOHISA \*\*\* , Hirokazu TATANO \*\*\*\* and Norio OKADA \*\*\*\*

### 1. はじめに

1995年1月17日、阪神・淡路大震災は早朝5時46分に発生した。消防庁<sup>1)</sup>によると、早朝であり自宅で就寝中であった人が多かったため、死者の9割が家屋、家具類等の倒壊による圧迫死であると報告されている。一方、1923年9月1日、午前11時58分に起こった関東大震災では、昼食時で火を扱っている家庭が多かったため、死者99,000名の9割が焼死あるいは火災から逃れるため川に飛びこんでの溺死であるとされている<sup>2)</sup>。救助活動可能な生産年齢者が通勤を通して自宅外にいたことも予想され、高齢者等の災害弱者の非難活動に支障が出た可能性が考えられる。これら2つの震災の事例を比較すると、多くの人々が就寝中であるか、昼食準備のために炊事中であるかといった発災時の人間活動の違いと、通勤等の移動に伴う人間活動の時空間分布の違いにより被害の様相が異なっていたことが予想される。

以上、要するに過去の災害統計の分析、あるいは将来の災害による被害想定を行う上で第一に重要な事項として、このような発生時間シナリオの違いによって被害様相(被害ポテンシャル)が異なりうるということが挙げられる。そして、被害ポテンシャルには人間活動の時空間分布状態が大きな影響を及ぼすと考えられる。その一つが上述の住民による災害

後の捜査・救助活動(SAR活動)である。各住民が主体となるSAR活動を用いた地域の災害脆弱性、被害ポテンシャルの評価は、災害時における住民の被害軽減行動を事前に担保する行動(プリペアドネスの実践)の良し悪しに関わるのものでその意味で被害ポテンシャルは災害対策上有効活用し得る。

しかし、人間活動時空間分布と災害被害との関係が十分に整理されてこなかったこと、大量の時空間データを効率的に処理するシステムやアプローチ方法が提案されていなかったことなどを背景に、被害ポテンシャルに関する研究はこれまで十分なされてこなかった。そこで本研究では、地震時におけるSAR活動を対象に、人間活動時空間分布に伴う被害ポテンシャル評価モデルの開発を行い、実際に阪神大震災の人的被害ポテンシャルについて定量的な分析を行う。この際、分析システムのプラットフォームとして、時空間情報システム(時間情報管理型GIS)であるDiMSIS<sup>3)</sup>に着目した。DiMSISは阪神大震災時における瓦礫処理業務に適用された実績を持ち、時間差分データの抽出などに優れた特性を持つ。時間・空間シナリオを伴う被害ポテンシャル分析を行うにあたり、時空間情報システムをプラットフォームとした分析アプローチの有効性についても検討を行う。

### 2. 本研究における方法的アプローチ

#### (1) 既往の研究のレビュー

これまで、大規模地震による人的被害については数多くの研究蓄積が存在する。例えば、過去のデータをもとに建物被害などの変数を用いて死者数を推定する式を提案している研究としては、小倉ら<sup>2)</sup>、佐

\*キーワード: 人間活動時空間分布, 被害ポテンシャル, 捜査・救助活動, 時空間情報システム

\*\*正員 電力中央研究所

(〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646, Tel 0471-82-1181)

\*\*\*正員 (株) 建設技術研究所

(〒540-0008 大阪市中央区大手前1丁目 2-15, Tel 06-6944-7761)

\*\*\*\*正員 工博 京都大学防災研究所

(〒611 宇治市五ヶ庄, Tel 0774-38-4308, Fax 0774-38-4044)

伯ら<sup>4)</sup>、塩野ら<sup>5)</sup>の研究が存在する。一方、災害発生時刻を変化させ、パーソントリップ調査データなどの人間活動分布データを用いることで、人的被害を求めている被害ポテンシャルに関する研究も存在する。例えば、瀧本ら<sup>6)</sup>は、震度別、構造別に求めた人命危険要因の生起率と、PT調査、国勢調査、NHK国民生活時間調査を用いて町丁目ごとに、時間帯別(8時、12時、18時、21時、2時)、平日休日別、屋内外別に求めた人口から死傷者数を推定している。また、中野ら<sup>7)</sup>は、PT調査結果を用いて、30分毎(朝の通勤時間帯は15分毎)の全地域、都心部、住宅地における施設別滞留人口及び交通手段別移動人口を求める事で、震災発生時刻別の震災被害の差異を定量的に求めている。時刻別人間活動分布をシミュレーションすることから災害時における危険時間帯を求める研究も存在する。例えば、菊池ら<sup>8)</sup>は、情報システムを用いたアプローチとして生活行動シミュレータPCATSを用いて人間活動分布を求め、得られた都市部における滞留人口分布から危険な時刻を割り出している。

以上の研究は、主に建物倒壊などの直接的な死因を想定した人的被害の分析及び推定である。しかし、阪神・淡路大震災以後、倒壊家屋などの直接的な要因による人的被害の分析及び推定だけでなく、災害発生後のSAR活動によっても人的被害は大きく様相を変えると考えられるようになり、SAR活動についての研究も数多くなされるようになった。阪神・淡路大震災において救出された人は、家族・隣人によるものが最も多いと報告されている<sup>9),10),11)</sup>。消防隊は現地到達に1~数時間かかるが、家族・隣人は地震後10分前後でSAR活動が始められるのに加え、震災後の経過時間と共に要救助者(建物の倒壊などにより自力で安全地帯への移動が困難となった者の意)の生存率が激減することが主な原因とされている。そのため、SAR活動についての研究では、要救助者の分布、要救助者の生存時間(死に至るまでの余命特性)、救助に必要な人員数及び救助所要時間、救援者の内訳に着眼されたものが多い。例えば、小山ら<sup>12)</sup>は、建物被害度と人的被害度から閉じこめ者(本研究の要救助者)数の推定を行っており、阪神大震災時に要救助者数が大量に発生していたことを示す結果となった。太田ら<sup>11)</sup>は、死者発生の要因ごとの生存時間等から

求まる死因モード別余命特性関数と、各モード別の存在比から、総余命特性関数を推定している。また、救援者の内訳として、「家族隣人」、「消防」、「自衛隊」に分類し、それぞれの活動実績を時間ごとにプロットしている。同様の試みは宮野ら<sup>9)</sup>によってもなされ、現地(東灘区)における聞き取り調査の結果から総余命特性とSARの活動状況に求めている。村上ら<sup>13)</sup>は、阪神・淡路大震災における消防救助記録を基に、建物構造、救出人数、出動隊員数、経過日数から、救助所要時間(分)を求め、出動隊員数などが救助所要時間にどのような影響を与えるかについて検討している。一方、災害時における生産年齢者による高齢者の捜査・救助・避難補助などを想定し、前川・岡田<sup>14)</sup>は高齢者と生産年齢者の空間分布の差異をニッチ分析手法を用いて指標化し、災害時における地域の脆弱性評価指標として用いることを提案している。

しかし、SAR活動そのものについての研究は、阪神・淡路大震災時の実際のSAR活動を基に分析・推定が行われており、多くの場合、早朝という多くの人が自宅にいる時間帯に起こった特殊ケースのみを対象としている。つまり、災害が他の時間帯に起こった際に、SAR活動に携わる生産年齢者の外出等による増減及び、それによるSAR活動の違いに関する研究は十分になされていない。また、SAR活動が一般的にどのような形で行われるかについてのモデル開発についても行われていない。基本的に、人的被害を最小に抑えるためには、「近隣の救助活動可能な家族・隣人」という属性を持つ集団が災害弱者とその場に居合わせる、あるいは被災地にすぐかけつけることによるSAR活動が重要となり、その場合、発災時の人間活動の時空間分布の状態を含め分析の対象とする必要がある。

そこで、本研究では、地域における生産年齢者と高齢者の「居合わせ」及び、外出している生産年齢者が徒歩で帰宅する「かけつけ」を考慮し、時間帯ごとのSAR活動に携わることができる生産年齢人口を推定し、SAR活動による救助・救出される人の時間帯別推移を求めるアプローチを取る。その際、従来では被災した本人の生活支障や、自治体の防災対策のために行われている帰宅困難者の研究を、地域から外出している生産年齢者の地域に帰ってくる時間

として流用できるのではないかと考え、中野ら<sup>7)</sup>、損害保険料率算定会<sup>15)</sup>の帰宅困難者に関する研究を参考に「かけつけ」行動部分のモデル化を行う。

## (2) 本研究におけるアプローチの概要

前小節に述べたように、大規模地震が起きた際に発生する人的被害、帰宅困難者についての研究は、さまざまな角度から数多くされている。また、本研究で対象とするSAR活動についてもデータ収集に関してはいくつかなされている。しかし、個々の研究は独立しており、また各研究で用いられているデータフォーマットや情報システムは各々違うため、多くの研究成果を重ね合わせて分析することは難しい。これら個々の研究成果を整理・活用することが今後の人的被害の分析に必要である。また、全ての分析アプローチを様々な時空間分析へ対応させることが可能であるかどうかを検討することが被害ポテンシャルの分析を行うために必要である。本研究では人間活動時空間分布に伴う地域脆弱性を分析するためにSAR活動モデルの開発を行うことを第一の目的とするが、これまで人的被害分析研究で利用されてきた様々な考え・モデルを被害ポテンシャル推計の枠組みで利用するためのシステム構築を行う。具体的には、被害ポテンシャルの推計には様々な時間・空間シナリオを分析する際に用いる膨大な情報を効率的に管理し、かつ様々なデータフォーマットを統合することが容易である必要がある。そのための条件としては以下のものが挙げられよう。

- 時空間情報を明示的に取り扱い、かつ時間差分データの抽出が可能である
- データフォーマットがオープンである

時空間情報を明示的に取り扱うとは、時刻、地域などのコンテキストが常に決定されており、そのためのデータ作成を要求するということである。また、データフォーマットがオープンとなっていることにより、様々な分析で用いられているデータの時空間化が比較的容易となる。本研究では、以上の条件を満たし、かつSAR活動などの時空間モデルを実装する上で有効な情報システムの一つとして、DiMSISを用いる。

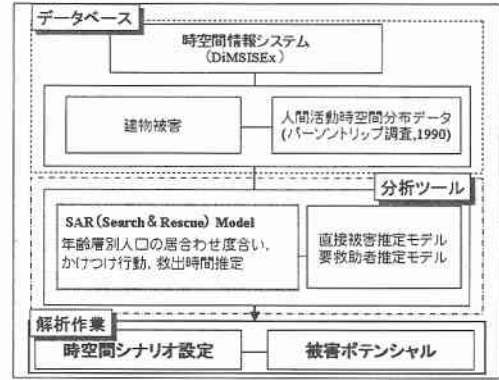


図-1: 本研究のアプローチ

具体的なアプローチとして、まず最初に人間活動時空間分布データの作成を行う。人間活動時空間分布のデータソースとして、1990年度に行われた京阪神パーソントリップ調査データ<sup>16)</sup>を利用した。しかし、PT調査データはゾーン参照型のデータであるため、GIS形式のデータを作成するためには、ゾーン名をもとに座標情報に変換する必要がある。より詳細な位置情報の特定が望ましいが、本研究では各ゾーンの重心点の座標をGISより抽出し、その情報を追記しながらPT調査データのフォーマット変換を行った。これにより任意のエリアでの様々な属性を持つ人間活動分布の把握が可能となった。ハザードとしては既往の研究成果を用い、建物被害情報を入力すれば、既往の計算式より任意の時間・場所における直接的な死者数などが計算される仕組みとしている。このようなデータベース上に本研究で開発するSAR活動モデルを搭載することにより、発生時刻によって変化する人的被害を総合的に分析するためのシミュレーターを構築した。以上、本研究のアプローチをまとめると、図-1のようになる。

## 3. SAR活動モデルの開発

### (1) 定式化

SARの活動を以下のようにモデル化しよう。まず、地震の発生時刻に建物内に閉じ込められ、自力で脱出困難な人間の数を要救助者数と呼び、地域*i*における要救助者数を $K_i$ と定義する。地域*i*において一人の要救助者が発見されるまでの時間は密度関数 $f(t)$ を有する確率変数 $T_i$ を用いて表されるものとする。従って、地域*i*において、災害発生後 $[t, t + dt)$ 時間に発見される要救助者数は $K_i f(t) dt$ と与えられる。

時間  $[t, t + dt)$  の間に発見された要救助者のうち何人が実際に救助されるかは、地域内に最初から居合わせたか、もしくは、他の地域からかけつけた救援者の数に依存するものとする。具体的には、地域  $i$  において時刻  $t$  に存在する救援者総数を  $P_{it}$ 、救援者一人が単位時間あたりに救助可能な要救助者数を  $m$  として、単位時間内に救助されうる最大の要救助者数が  $mP_{it}$  によって与えられるものとする。災害発生時に被災地域に居合わせた生産年齢者のうち、居住地までの移動時間が長い ( $\bar{T}$  を超える) 人々は帰宅困難者となるものとする。帰宅困難者は災害発生後、一定時間、当該地域における初期の救援活動にあたるものとする。一方、居住地までの移動時間が相対的に短い ( $\bar{T}$  を超えない) 人々は居住地に駆けつけて救助に当たるものとする。本研究では、前者を「居合わせ救援者」、後者を「かけつけ救援者」と呼ぶ。いま、地域  $i$  における居合わせ救援者の数を  $q_i$ 、地域  $j$  で災害に遭遇し、地域  $i$  にかけてつようとするかけつけ救援者の数を  $\sigma_{ij}$  と表すことにする。災害発生後直ちにかけつけ救援者は移動を開始するものとする、地震発生時に地域  $j$  にいるかけつけ救援者が地域  $i$  に到達するのに  $h_{ij}$  の時間を要するものとする。このとき、かけつけ救援者が地域  $i$  に  $t$  時間に到達しうる地域の集合  $\Omega_i(t)$  は以下のように与えられる。

$$\Omega_i(t) = \{j | h_{ij} < t\} \quad (1)$$

このとき、地震発生後  $t$  の時点において、地域  $i$  に存在する救援者総数  $P_{it}$  は、以下のように与えられる。

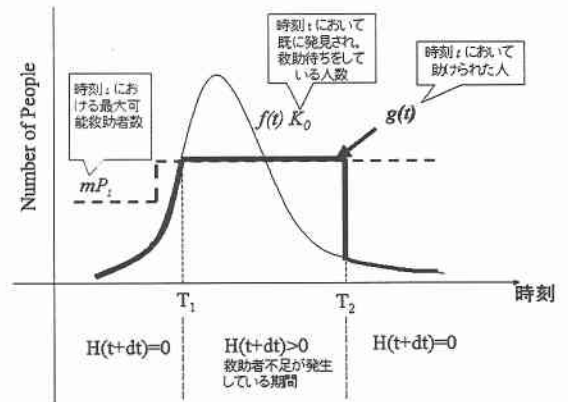
$$P_{it} = q_i + \sum_{j \in \Omega_i(t)} \sigma_{ij} \quad (2)$$

このとき、 $K_i f(t) dt > P_{it} m dt$  の状態において救援者不足状態が発生し、 $K_i f(t) dt - P_{it} m dt$  人の既に発見されたが救助順番を待つ状態の人が微小時間  $dt$  の間に発生するものと考えられる。従って、時刻  $t$  における救助待ち状態の人数を  $H_i(t)$  とすると、本研究で想定する SAR 活動は以下のモデルで表現される。

$$g_i(t) dt = \begin{cases} H_i(t) + K_i f(t) dt > P_{it} m dt \text{ の場合,} \\ P_{it} m dt \\ H_i(t) + K_i f(t) dt \leq P_{it} m dt \text{ の場合,} \\ H_i(t) + K_i f(t) dt \end{cases}$$

地域  $i$ , 時刻  $t$  における救助者数  $G_i(t)$  は、

$$G_i(t) = \int_0^t g_i(t) dt \quad (3)$$



図一 2: 想定する SAR 活動の例

で表現される。ただし、

$$H_i(t) = K_i F(t) - G_i(t) \quad (4)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (5)$$

となる。

最後に、図一 3 での総余命線  $L(t)$  (ある時刻に助けられた人のうち生存している人の割合) を用いると、救助された人のうち、生存している人数  $I_i(t)$  の期待値は  $E(I_i(t)) = L(t)G_i(t)$  で求められる。

図一 2 は本研究で想定する SAR 活動のプロトタイプを表す。  $T_1$  までは発見された要救助者が最大可能救助者数を超えることがなく、SAR 活動者は不足していない。しかし、時刻  $T_1$  から  $T_2$  はこれまでに発見され、救助待ちをする要救助者数がピークを迎えるため、最大可能救助者数を超えている。時刻  $T_1$  から  $T_2$  は救援者不足の状態となる。その後、時刻  $T_2$  においてようやく救助待ち人数が減少し、その後は時刻  $T_1$  までと同様の SAR 活動が行われると解釈される。

## (2) SAR モデルのパラメーター決定方法

阪神大震災では建物倒壊や家具の転倒などによって多数の生き埋め者が発生したことが知られている。建物被災度と要救助者数には何らかの関係があることが予想され、本研究では阪神・淡路大震災時の建物被害データと人間活動の時空間分布との重なりから、要救助者数を求めるアプローチを取る。要救助者数の推定に関しては、例えば、小山ら<sup>12)</sup>による研

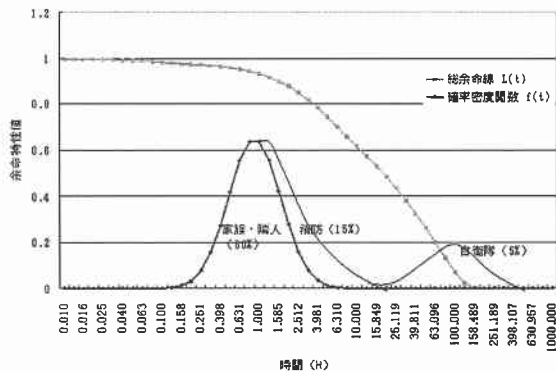


図-3: SAR活動と総余命線(太田ら<sup>11)</sup>を基に作成)

研究成果があるが、人的被害者数と要救助者数の関係に着目したものであり、建物被害とは関連付けられていない。要救助者数を建物被災度から分析するためのデータ収集が必要となっている。データ利用に制限があるため、そのアプローチ方法に課題は残るが、本研究では建物被害と人的被害者数の関係を調べた小倉ら<sup>2)</sup>の研究と人的被害者数と要救助者数の関係を調べた小山ら<sup>12)</sup>の研究を併用することで要救助者数を求めた。また、建物(学校施設は除く)の被害率は、日本地図センター<sup>17)</sup>による町丁目ごとのデータを用いた。

太田ら<sup>11)</sup>の図をもとに要救助者1人あたりが発見・救助されるまでの確率密度関数  $f(t)$  を対数正規分布として求める。図-3は推定結果のプロットであり、 $t$  の単位を時間とした場合  $f(t)$  は以下の式で示される。

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\log t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) & (t > 0) \\ 0 & (t = 0) \end{cases} \quad (6)$$

$$\hat{\mu} = -0.1106$$

$$\hat{\sigma} = 0.6158$$

ここで、確率密度関数  $f(t)$  は、多くの生産年齢者が自宅にいる時間帯である早朝5時46分に起こった阪神・淡路大震災時のグラフであるため、地域にSAR活動に携われる生産年齢者が十分存在していた時の最大限のSAR活動による成果であると考えられる。また、全要救助者数の約80%が家族隣人によって救助されたという太田ら<sup>11)</sup>の調査結果に基づき、微小時間  $dt$  において救助者された最大の人数は、要救助者数の80%に、図3での救出最大密度  $f(t) = 0.6374(t = 1$  のとき) をかけた人数であると考える。

この人数と、5時46分の町丁目内の生産年齢人口を比較することで、1人あたりの最大救出可能人数  $m$  を求める。

長田区と中央区において  $m$  を求めた結果、長田区では  $m = 0.2680$  となり中央区の4倍以上の値となった。これは長田区の方が人的被害が大きかったため、SAR活動における青年1人あたりの負担が大きかったためと考えられる。そこで、本研究では最大可能人数を考えるため、長田区における  $m = 0.2680$  を用いる。

次にかけてつけ可能者について考える。阪神・淡路大震災の事例では、大規模災害時には公共交通機関は運行を停止し、道路も麻痺状態となったことから、帰宅手段は徒歩とする。この際、かけつけにかかる時間は、帰宅困難者が、帰宅にかかる時間の予測式を流用できると考え、東京都(1997)の方法<sup>15)</sup>を参照にした。図-3より、3時間以内が家族・隣人による救助活動が大きく影響を及ぼす時間帯であると判断される。そこで、式(7)から、かけつけ時間を算出し、3時間以上かかる人は、かけつけ不可能者と判定するとする。つまり、前節で定義したかけつけ可能な時刻を  $T = 3$  とする。自宅住所と滞在地との距離は、自宅住所のある町丁目の代表点と滞在先のある町丁目の代表点の間の距離を使う。帰宅する道のり(道路距離)は、東京都の方法<sup>15)</sup>を参照して、直線距離の1.14倍とする。また、震災後3時間以内の帰宅者の帰宅速度は、2.5km/hとする。

$$(\text{かけつけに必要な時間 } h) =$$

$$(\text{自宅住所と滞在地との距離}) \times 1.14 \div 2.5 \text{ km/h} \quad (7)$$

とする。

#### 4. 神戸市長田区・中央区を対象とした分析

本章では神戸市長田区と中央区を対象に人間活動時空間分布に伴うSAR活動の変化を分析し、阪神大震災の被害ポテンシャルに関する考察を行う。まず、各区の人間活動分布の特性であるが、図-4に示されるように長田区は昼間時における生産年齢人口が減少し、それを補填するように外部から生産年齢者が流入する。これに対し、中央区は区内の生産年齢人口の減少はややあるものの、区外から流入する生産年齢者人口が長田区に比べてかなり多くなっている。また、高齢者人口の割合も長田区の方が大

きくなっており、年齢構成のみ考慮した場合、脆弱な地域と考えられる。

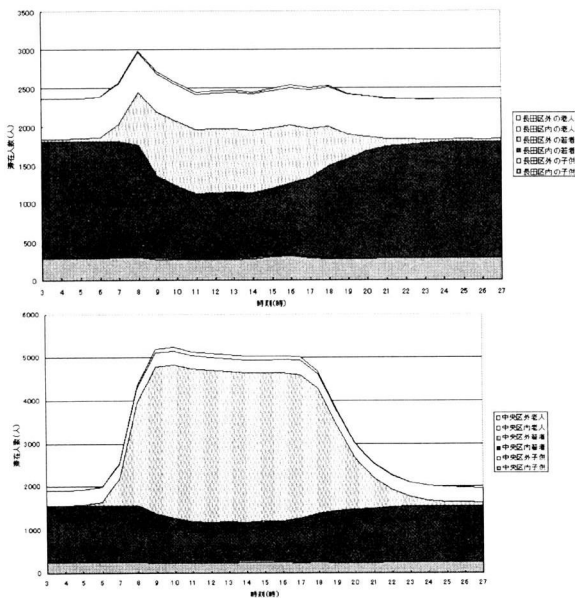


図-4: 時刻別区別属性別潜在者数の時間変化

図-5は12時に震災が発生したと仮定した場合における長田区、中央区のかけつけ救援者数の推移を示す。中央区に比べ、長田区の方が早い時刻におけるかけつけ救援者の割合が多い。例えば1時間後の全かけつけ可能者数に占めるかけつけ救援者の割合は中央区が51.2%であるのに対し、長田区は59.2%となっている。

次に最終的な被害様相について考察を行う。図-6は震災発生時刻を6時、12時とした際の震災直後の要救助者(a,c)と、震災後3時間に行われた救助活動の結果、死亡確認された人間と救助を必要としている可能性のある人間の数(b,d)を示している。分析システムの性質上、様々な時間によるシミュレーションが可能であるが、ここでは紙幅の都合上二時点の結果を載せるのみとする。それぞれの時点におけるシミュレーションの結果、SAR活動により要救助者の割合が他地域に比べて減少した地域、増加した地域が、図-6中のa)とb), c)とd)の濃淡の変化からそれぞれ読み取られる。直接的な被害を減少させるためには図-6のa),c)に基づいた被害対策が必要と考えられる。しかし、その後のSAR活動を含め

て地域の診断を行うと災害による被害ポテンシャルは図-6のb),d)に基づき判断する必要がある。また、あらゆる時間帯において危険な地域、ある一定の時刻で特に危険となる地域など各町丁目によって時間帯ごとに被害状況、SAR活動の状況が異なっていることが図-6中のa)とc), b)とd)の濃淡の変化からそれぞれ読み取ることができる。SARの効果地域住民に周知し、それぞれの町丁目に応じた対策を講じることが必要となる。

最終的な人的被害とSAR活動による救助者をまとめると図-7となる。ここには同様にシミュレーションを行った18時、24時の結果を併せて記載している。全般的に救助率が小さく、実際の太田らによるSAR活動調査(80%の救助率)とは異なる結果となっているが、これはかけつけ救援者や居合わせ者が出身町丁目でしか活動を行っていないことや最大救出可能人数の設定が低いことなどが可能性として考えられる。このようにシミュレーション条件の変更やパラメーター再検討の必要性はあるものの、地域差や救援者の時間的変化を分析する上において結果の活用が期待される。

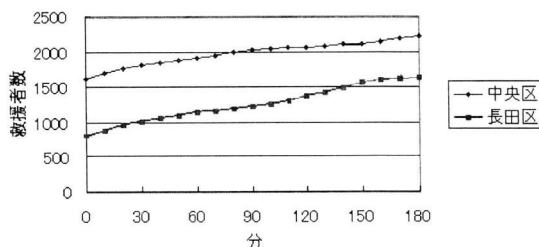
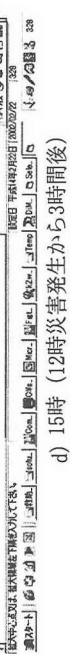
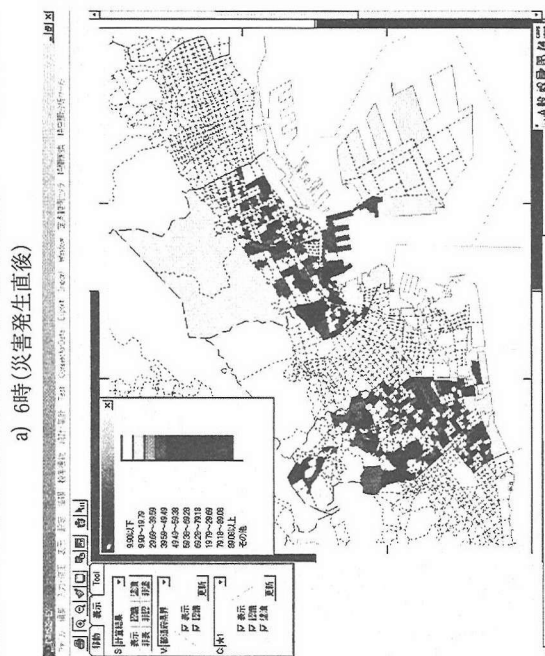
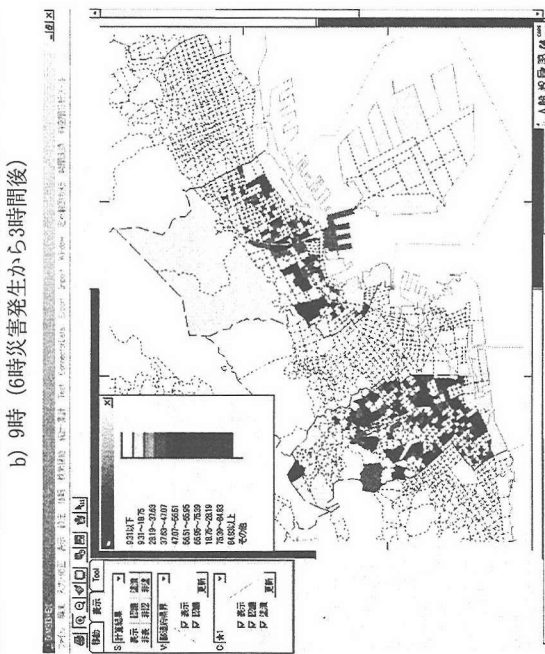
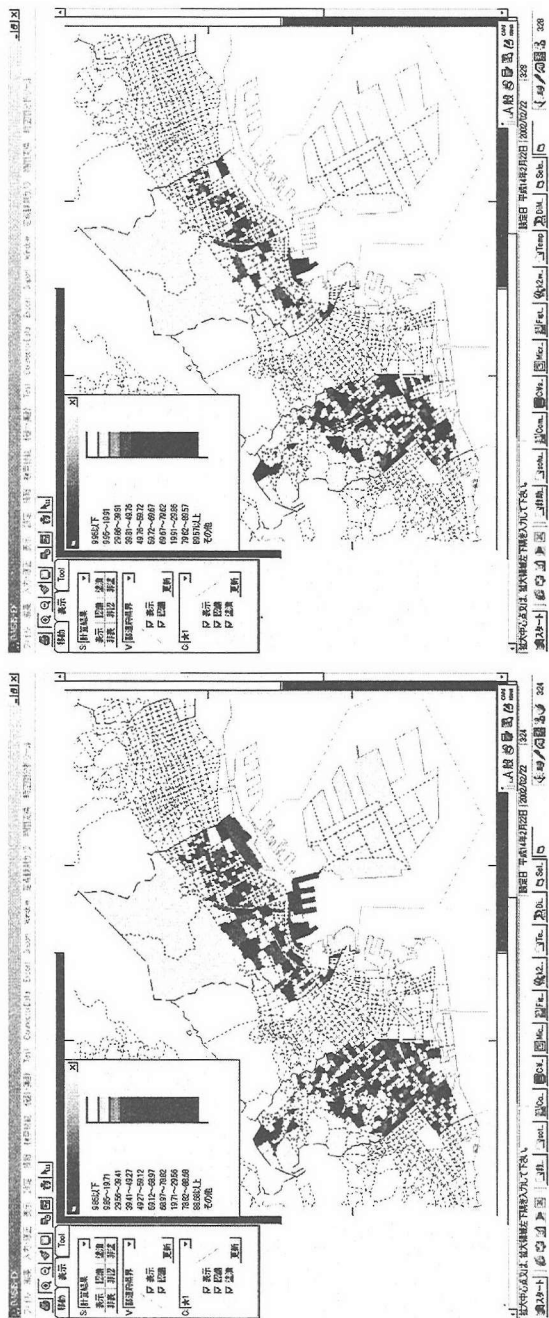


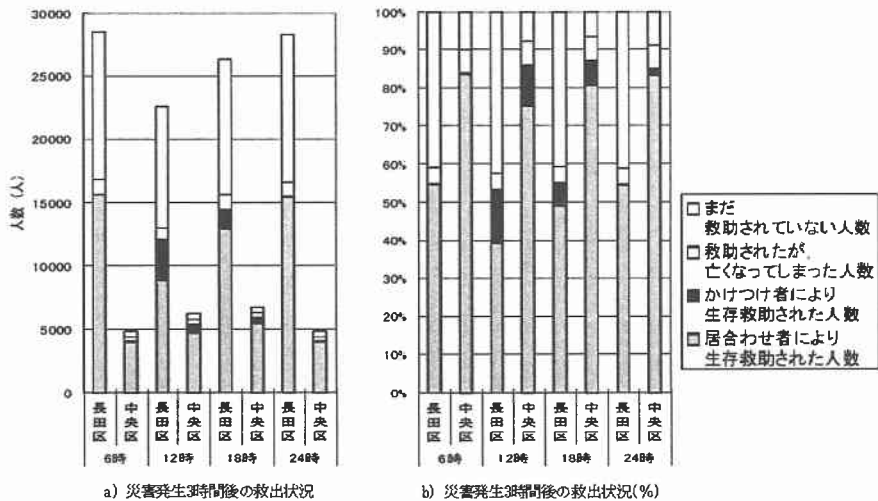
図-5: 12時に震災が発生した場合生じる中央区と長田区のかけつけ救援者数の時間的推移

## 5. まとめ

過去の災害統計の分析及び将来発生する可能性のある災害による被害想定を行う上で考慮すべき事項として、様々な時間・空間的シナリオにおいて発生可能性のある被害様相(被害ポテンシャル)の分析が挙げられる。人間活動の時空間分布特性はこの被害ポテンシャルに密着に関連しており、本研究では人間活動時空間分布に着目した災害時の被害ポテンシャルについて考察を行った。特に被害に影響を及



図一 6: 要救助者数及び死者数 (6時, 12時震災発生, a)とc)は発生直後, b)とd)は震災発生から3時間後の状況を示す.)



図一 7: 救助救出人数最終結果 (図中の時間は災害発生時刻)

ばす代表的な項目として、SAR活動に着目した。この際、救助活動者である生産年齢人口の「居合わせ」及び「かけつけ」を考慮したモデルの開発を行った。次いで、あらゆる時空間シナリオにおいて被害発生状況、SAR活動状況を分析するために時空間情報システム(DiMSIS)を用いたシミュレーターの開発を行った。大量の人間活動時空間データを効率的に処理し、明示的に時空間シナリオを与える情報システムを用いることは被害ポテンシャルの分析において有効なアプローチと考えられる。実際に本研究では、DiMSISをプラットフォームとした人間活動分布・被害情報のデータベース化、SARシミュレーションモデルの搭載、最終章での時空間シナリオ分析、と一連の被害ポテンシャル分析アプローチを示した。また、本研究で開発したシステムは一つの完結したシステムとしてではなく、今後さらなる分析機能を追加し、研究成果を蓄積することが期待される。例えば、本研究では建物被害の様相は時間帯にかかわらず一定としているが、実際には火災の発生状況は時間帯によって異なることが予想される。このような時間シナリオの違いによって生じると予想される事象を追加していくことが重要となろう。

シミュレーションの結果、神戸市長田区・中央区の就業状態などの地域特性が時間帯別の被害様相、SAR活動状況の違いに与える影響が定量的に明らかになった。特に、町丁目単位というマイクロなスケール

における住民行動と防災効果に関する分析を行っており、このことが今後の災害研究成果を地域に反映させていく上で有効であると考えられる。実際のSAR活動は災害時における実際の住民行動に大きく左右されることが予想されるが、本研究のようなマイクロな想定行動を用いた結果を利用することにより、当事者意識を高め、災害後の被害軽減行動を事前に担保するというプリペアドネスの向上が期待される。しかし、公的な立場から考えると、事後の対応を地元住民だけに任せるのではなく、被災状況や要救助者の状況に応じて救助隊を派遣することが必要となる。また、救助隊の派遣が間に合わない場合は、救助機器などを救助活動者の人数や被災状況に応じて輸送するような対策も効果的と考えられる。災害後の住民行動に公的機関からの救助隊の行動を重ね合わせることで救助効率が最大となる救助隊の行動ルールなどを決定するなど、異なる行動主体の相互作用を考慮した分析が必要であろう。SAR活動モデルに関する今後の課題としては、移動経路の考慮や救出後の病院までの運搬等のより詳細な救出・救助モデルへの発展が考えられる。また、居合わせることの効果や地元住民によるSAR活動と他地域住民によるSAR活動の違いを明示的に考慮したモデルの検討等が必要であると考えられる。

#### [参考文献]

- 1) 消防庁：阪神・淡路大震災の記録 1, 1996
- 2) 小倉正臣, 鈴木祥之, 藤原悌三：阪神・淡路大震災



- における死傷者発生要因に基づく人的被害推定に関する研究, 総合防災研究報告, 第5号, 1998
- 3) 畑山満則, 松野文俊, 角本繁, 亀田弘行: 時空間地理情報システム DiMSISEx の開発, GIS—理論と応用 地理情報システム学会, pp.1-8, 1999
  - 4) 佐伯琢磨, 中村雅紀, 渡辺敬之, 翠川三郎: 地震による死傷者数及び負傷に対する治療費用の評価方法, 地域安全学会論文集 No.3, pp.133-140, 2001
  - 5) 塩野計司, 村上ひとみ, 太田裕, 地震による死者数の概略式—国・地域汎用モデルの開発—, 財団法人地震予知総合研究復興会, 東濃地震科学研究所報告 Seq. No.3 地震時の人的被害に関する総合研究(2)—ワークショップ特集—, pp.79-90, 2000
  - 6) 瀧本英明, 中澤一彦, 川村達彦: 地震災害の人命危険量について, 財団法人地震予知総合研究復興会, 東濃地震科学研究所報告 Seq. No.3 地震時の人的被害に関する総合研究(2)—ワークショップ特集—, pp.109-124, 2000
  - 7) 中野敦, 本田武志: 都市における時刻別地域別人口分布と震災被害に関する研究—PT 調査データの分析に基づいて—, 土木計画学シンポジウム『阪神・淡路大震災に学ぶ—土木計画学からのアプローチ』阪神・淡路大震災土木計画学調査研究論文集, pp.75-82, 1997
  - 8) 菊池輝, 藤井聡, 北村隆一: GIS と生活行動シミュレータ PCATS を利用した消防防災拠点の評価, 土木学会, 土木計画学研究・講演集, Vol.24, 2001
  - 9) 宮野道雄, 村上ひとみ, 西村明儒, 村上雅英: 1995年兵庫県南部地震による人的被害, その5. 神戸市東灘区における人命救助活動に関する聞き取り調査, 地震時死傷問題に関する学際シンポジウム報告書, 人的被害研究会, pp. 43-44, 1997
  - 10) 村上ひとみ: 1995年阪神・淡路大震災における応急救助の実態と活動, 地震時死傷問題に関する学際シンポジウム報告書, 人的被害研究会, pp. 49-52, 1997
  - 11) 太田裕, 小山真紀, 和藤幸弘: 震度余命特性曲線の試算—1995年兵庫県南部地震の場合—, 東濃地震科学研究所報告, Seq.No.3, 地震時の人的被害に関する総合研究(2)—ワークショップ特集—, 財団法人地震予知総合研究復興会, pp.97-104, 2000
  - 12) 小山真紀, 太田裕, 村上ひとみ: 震度分布を既知情報とした人的被害の推定手法—死傷から閉じこめ者分布へ—, 財団法人地震予知総合研究復興会, 東濃地震科学研究所報告 Seq. No.3 地震時の人的被害に関する総合研究(2)—ワークショップ特集—, pp.91-96, 2000
  - 13) 村上ひとみ, 竹元道, 太田裕: 阪神・淡路大震災における消防救助記録に基づく救助労力の分析—西宮市の場合—, 財団法人地震予知総合研究復興会, 東濃地震科学研究所報告 Seq. No.3 地震時の人的被害に関する総合研究(2)—ワークショップ特集—, pp.149-157, 2000
  - 14) 前川和彦・岡田憲夫: ニッチ重なり合いを考慮した都市災害リスクの評価法に関する基礎的考慮, 土木計画学研究・論文集, Vol.14, pp.341-352, 1997.
  - 15) 災害保険料率算定会: 帰宅困難者の予測, 地震保険調査報告 28, 地震被害想定資料集, pp.185-186, 1998
  - 16) 第3回京阪神都市圏パーソントリップ調査 パーソントリップ調査データ利用の手引き, 京阪神都市圏交通計画協議会, 京阪神都市圏総合都市交通体系調査, 平成4年度調査報告書資料編 No.5, 1993.
  - 17) 数値地図10000(総合), (財)日本地図センター, この地図は, 建設省建築研究所が建設省国土地理院長の承認を得て, 同院発行の数値地図10000(総合)を複製した CD-ROM データに基づいて作成したものある。(承認番号 平8総復, 第26号), 1996
  - 18) 井宮雅宏, 白川洋一, 太田裕: 1995年阪神・淡路大震災における建物被害と死傷の関係, 地震時死傷問題に関する学際シンポジウム報告書, 人的被害研究会, pp. 29-32, 1997

---

## 人間活動時空間分布に着目した大規模災害時の被害ポテンシャルに関する研究\*

梶谷義雄\*\*・本久仁美\*\*\*・多々納裕一\*\*\*\*・岡田憲夫\*\*\*\*

過去の災害統計の分析,あるいは将来の災害による被害想定を行う上で第一に重要な事項として,災害発生時空間シナリオの違いによって被害様相(被害ポテンシャル)が異なりうるということが挙げられる。人間活動の時空間分布特性はこの被害ポテンシャルに密接に関連しており,その分析が防災研究の領域において大きな課題となっている。本研究では,人間活動時空間分布が災害時の救助救命活動(SAR活動)に影響することに着目し,救出・救命作業時の「居合わせ」,「かけつけ」を考慮したSAR活動評価モデルの開発を行った。また,時空間情報システムであるDiMSISを用い,任意の時間・空間における人的被害ポテンシャルを分析するためのSARシミュレーションの開発を行った。開発したシステムに基づき,神戸市長田区・中央区において阪神大震災の発災シナリオを変化させる分析を行った結果,人間活動時空間分布の影響の大きさが定量的に明らかとなった。

---

## Evaluation of Potential Loss Caused by Large Scale Disaster Based on Spatial-Temporal Distribution of Human Activity\*

By Yoshio Kajitani\*\* , Hitomi MOTOHISA\*\*\* , Hirokazu Tatano\*\*\*\* and Norio Okada\*\*\*\*

In order to analyze past and future loss caused by natural disaster, it is important to know potential loss which could be brought about if the spatial and temporal scenario of disaster occurrence were changed. Spatial and temporal distribution of human activity is one of the important factors which can influence on the potential loss. Especially this research focuses on the fact that the human activity is related to an SAR activity after disaster, and we developed the SAR model considering people's behaviors after the earthquake, characterized by age, residential location, and spatial and temporal activity location. Then, an SAR simulator system is constructed to simulate potential losses of human lives depending on both the time of the occurrence of the hazard and the place of human activities by combining the developed SAR model and spatial-temporal database. As a result of case study in Nagata, Chuo in Kobe, influence of spatial temporal distribution of human activity was estimated quantitatively.