

時空間情報システムを用いた人間活動分布の潜在的危険度評価に関する研究*

Evaluation of Human Activity Related Risk Potential by Use of Spatial-Temporal Information System *

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

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

1. はじめに

地震災害時における人命の損失を軽減するためには、構造物の耐震性などに加え、最終的に被害を受ける客体である人間活動の時空間分布を事前に把握しておくことが重要である。1995年の阪神大震災では、地震発生時間帯が早朝であったため死者の9割が自宅での家屋、家具類等の倒壊による圧迫死であると報告されている¹⁾。しかし、そのような建物被害による死者が多かった反面、SAR活動(Search and rescue)可能な地元青年が出身地域に多く居合わせていたため、災害発生後の救出者が多かったことも予想される。実際、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^{2),3),4)}。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分前後で救出・救助活動が始められるのに加え、震災後の経過時間と共に生存率が激減することが主な原因とされている。つまり、人的被害を最小に抑えるためには、近隣の青年人口による救出・救助活動が重要であり、災害弱者である高齢者及び子供と若者の空間分布の重なり合い状態が被害の大きさに影響を及ぼすことになる。

しかし、地域住民の通勤・通学といった活動により、災害弱者である高齢者と青年人口との近隣地域内の重なり状態や、地域から離れている青年人口が

帰宅するのにかかる、救出・救助活動を開始できるまでの時間も時々刻々と変化している。これらは高齢者と青年人口の「居合わせ」及び青年人口の「かけつけ」の問題と解釈することができよう。つまり、震災の発生時刻によって、家族・隣人による救出・救助活動が十分に行えず、人的被害が拡大する可能性が考えられる。

以上のことから人的被害に関する地域の潜在的危険度とはI.地震や火災といったハザード自体の発生位置や発生時刻、発生強度(大きさエネルギー)のみでなく、

II.ハザードの影響を受ける客体(エクスポージャ)である人口や資産(建物)の空間分布

III.青年、高齢者など被害を受ける客体自身の災害に対する脆弱性(バルナラビリティ)によって規定されるものとし、人的被害軽減のためにはI,II,IIIを総合的に分析することが必要となる。そこで、本研究では、人間活動の時空間分布を分析するために時空間情報システムであるDiMSIS⁵⁾とパーソントリップ調査データ⁶⁾を用い、任意の時間・空間における人間の活動分布とハザードの関係を分析するためのシステムを開発する。この際、家族や青年人口の「居合わせ」及び、外出先からの「かけつけ」を考慮した一般住民による救助・救出活動(SAR活動)モデルを構築し、地震災害に対する地域の潜在的危険度の時空間変化を把握するための方法を示す。

2. 本研究における方法論的アプローチ

大規模地震が起きた際に発生する被害やSAR活動、帰宅困難者についての研究は、様々な角度から数多くなされている。しかし、個々の研究は独立しており、本研究で定義する潜在的危険度評価のため

*キーワード: 人間活動分布, 潜在的危険度, 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 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)

****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)

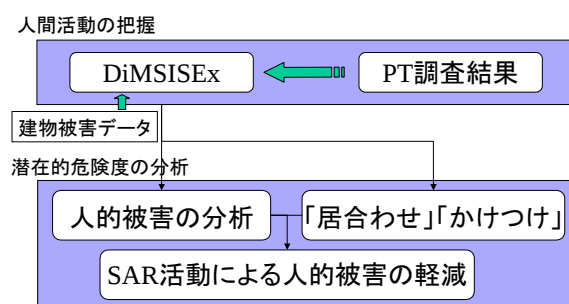


図 - 1: : 本研究のアプローチ

の総合的な枠組みのもとでの研究は十分になされていない。また、用いられているデータや情報システムが、各々違うため、多くの研究を重ね合わせて分析することも難しい。その主な理由の一つとして、研究を行う際の共通基盤としての有効な情報システムが構築されていないことが挙げられる。特に、本研究で対象とする地域の潜在的危険度とはI. ハザード、II. エクスポージャー、III. バルナラビリティにより規定され、これらI、II、IIIに伴う膨大な時間・空間情報を分析し、危険地域の診断を行うためには大量の時空間データを効率的に管理するシステムが必要となる。そこで本研究では、人間活動の時空間分布の分析が可能であり、かつSAR活動などの時空間モデルを実装する上できわめて有効な情報システムとして、時空間GISであるDiMSISの利用を提案する。すなわち、時空間GIS上に個々人の行動データを入力することで人間活動の時空間分布を把握する。次いで、実際にその情報システム及び人間活動のデータを用いて、発生時刻によって変わる人的被害と「居合わせ」「かけつけ」行動に基づくSAR活動について分析を行うためのシミュレーターの構築を行う。最後に、それらの相互作用による総合的な地域の潜在的危険度に対する都市診断を行う。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. 時空間情報システムを用いたSARシミュレーターの構築

(1) 人間活動データベースの構築

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を利用する。しかしながら、従来の調査方法で集計されたパーソントリップ調査等の人間活動データは空間情報をゾーン単位、あるいは住所単位で集計を行っ

ているために、座標をもとにした任意の空間スケールにおける分析が困難となっている。例えば帰宅困難者の推計のために必要なある任意のエリアに滞在する人口分布を分析するような場合、ゾーン単位で集計されたデータよりも座標をもったデータの方が、より詳細な位置関係を求める上ではるかに有利である。ただし、本研究で用いるPT調査(パーソントリップ調査)はゾーン参照型という空間上の制約条件がありながらも全域的大規模な調査で行われた貴重なデータであることも確かである。また、個人の行動を終日に渡り追跡した時間情報を完備したデータである。そこで本研究ではこうした従来型データベースの問題点を指摘しながらも、災害の「潜在的危険度」を分析し、都市の安全性を診断する上で不可欠な人間活動の時空間データベースとして、パーソントリップデータの再構築を行う。

(2) SARモデルの構築

潜在的危険度を分析するためのSARモデルの定式化と分析手法に関して紹介を行う。まず、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、小倉ら⁷⁾の発生時刻別死者数推定式を利用して発生時刻別町丁目別の人的被害の試算を行い、要救助者数(自力で被災した建物から脱出することが困難であった者の人数)の分布を推定する。要救助者数の推定に関しては、小山ら⁸⁾にある要救助者数の発生状況と死者数との関係を示した以下の式に注目する。

$$(\text{要救助者数}) = (\text{死者数}) \times 55.50407 \quad (1)$$

本研究では、要救助者数の発生状況が死者数と同じパラメーターを説明要因として有していると仮定し、小倉ら⁷⁾によって提案された死者推定式を要救助者推定式として流用する。また、建物(学校施設は除く)の倒壊率及び火災率は、日本地図センター⁹⁾による阪神大震災時の町丁目ごとのデータを用いることとする。

次いで、人的被害の軽減可能性として「居合わせ」ている青年人口と徒歩による「かけつけ」可能な青年人口によるSAR活動モデルを提案する。

SAR活動モデル 青年人口によって、時間 T までに救助される人数(期待値) $G(T)$ 、及び生存救助さ

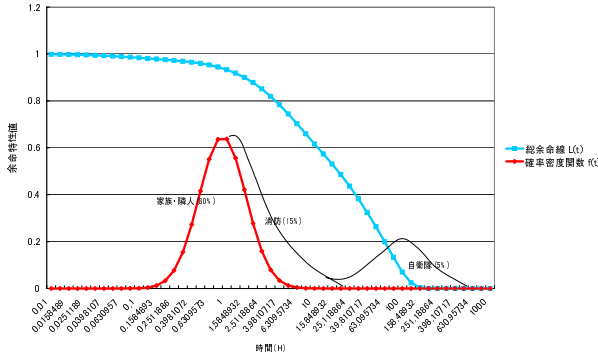


図 - 2: 余命曲線と SAR 活動の比較 (太田ら⁴⁾を基に作成)

れる人数 (期待値) $I(T)$ に関するモデルを構築する。図 2 は太田ら⁴⁾に記録されている SAR 活動による救助者のうち、家族・隣人による SAR 活動の曲線を時間確率密度関数 $f(t)$ として回帰した曲線と消防、自衛隊による救助状況を示したものである。家族・隣人による救助者が大半を占めており、本研究では家族・隣人による救助活動に注目したモデル化を行う。

ここで、 $t = 0$ における閉じこめ者のうち家族・隣人によって発見・救助される可能性のある人数を K 人とする。微小時間における最大救出可能人数を P_t (人 / 救出者 1 人) とし、閉じこめ者の近くに青年人口が P_t 人いたとすると、時間 t から微小時間 dt の間に救出された人数 $g(t)dt$ は、

$$g(t)dt = P_t (f(t) \times Kdt > P_t mdt) \quad (2)$$

$$g(t)dt = f(t) \times Kdt (f(t) \times Kdt \leq P_t mdt) \quad (3)$$

となる。ただし、式 (2) の場合、微小時間 dt において、 $f(t) \times Kdt$ (人) 発見された閉じこめ者がいるにもかかわらず、救助者不足のため $g(t)dt = P_t mdt$ (人) のみ救助されたことになり、発見されたが救助できない人が $f(t) \times Kdt - g(t)dt$ (人) 発生する。このことを考慮し、より一般的に式 (2) 及び式 (3) を書き直すと、

$$F(t) \times K - G(t) + f(t) \times Kdt > P_t mdt \text{ のとき、}$$

$$g(t)dt = P_t mdt$$

$$F(t) \times K - G(t) + f(t) \times Kdt \leq P_t mdt \text{ のとき、}$$

$$g(t)dt = F(t) \times K - G(t) + f(t) \times Kdt$$

となる。ここで P_0 を地元に住居合わせることができた青年、 i を居合わせることができず、地元につけける青年と仮定する。そのとき、

$$P_t = P_0 + \sigma_i n_i(t) \quad (4)$$

ここで、

$$n_i(t) = 1 \quad (t > t_s) \quad (5)$$

$$n_i(t) = 0 \quad (t \leq t_s) \quad (6)$$

となる。ただし、 t_s = かけつけに必要な時間とする。また、救助が可能でありながら、実際には救助できないでいる人数について考えると、式 (7) となる。

$$F(t + dt) \times K - G(t + dt)$$

$$= F(t) \times K - G(t) + f(t) \times Kdt - g(t)dt \quad (7)$$

ここで、時間 t における、救出可能でありながら救出できないでいる人数を $H(t) = F(t) \times K - G(t)$ とおくと

$$H(t + dt) = H(t) + f(t) \times Kdt - P_t mdt$$

$$(H(t) + f(t) \times Kdt > P_t mdt \text{ の時}) \quad (8)$$

$$H(t + dt) = 0$$

$$(H(t) + f(t) \times Kdt \leq P_t mdt \text{ の時}) \quad (9)$$

以上から、 $g(t)$ を求めると、以下の SAR 活動に関する条件式が導かれる。

$$g(t) = \begin{cases} f(t) & (0 < t \leq T_2) \\ P_t m & (T_2 \leq t \leq T_4) \\ f(t) & (t \geq T_4) \end{cases} \quad (10)$$

生存救助可能者 以上で求めた青年人口によって救助される人数 (期待値) $G(T)$ に、図 2 での総生存曲線 $L(t)$ をかけることで、救助・救出された人のうち、生存している人数 (期待値) $I(T)$ を求める。

太田ら⁴⁾による余命特性曲線 $L(t)$ を用いると $I(T)$ は、

$$i(t) = \begin{cases} L(t)f(t) & (0 < t \leq T_2) \\ L(t)P_t m & (T_2 \leq t \leq T_4) \\ L(t)f(t) & (t \geq T_4) \end{cases} \quad (11)$$

を積分したものとなる。

紙幅の都合上、パラメーターの決定方法などの詳細は講演時に譲る

4. 神戸市長田区・中央区を対象とした分析

本節では構築した SAR シミュレーターをもとに神戸市長田区と中央区を対象に阪神大震災の発生時刻を変化させた場合の潜在的危険度評価に関する分析を行う。分析システムの性質上、様々な時間・空間 (最小時間単位: 分, 最小空間単位: 町丁目) における分析が可能であるが紙幅の都合上、分析結果例をいくつか示すことに留める。図 3 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、

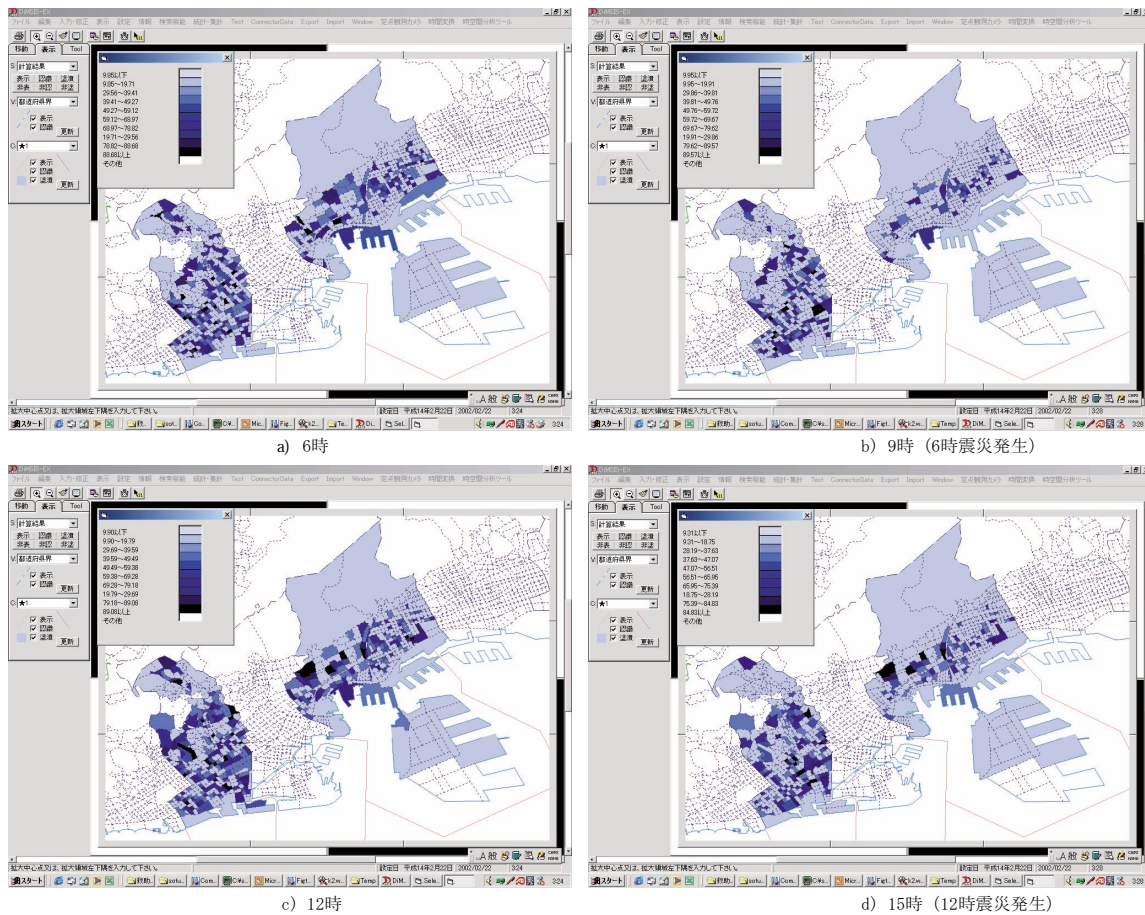


図 - 3: 要救助者数及び死者数（6 時，12 時震災発生，左図は発生直後，右図は 3 時間後）

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．時間帯ごとに危険地域が異なっていることが分かる．直接的な被害を軽減させるためには図 3- a),c) に基づき，耐震補強などの事前の地震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，総合的に人的被害を軽減させるためには図 3 - b),d) に基づいた事前，事後の被害軽減対策を講じなければならない．例えば，事後におけるプロフェッショナルな救助活動をどの地域を中心に行うかなどの意思決定を行う際に，図 3 - b),d) を基にした最適な人員配置，活動ルートの選定などを行うことが有効であろう．ただし，本研究では道路網や交通，人々の移動状況，その後の避難活動についての分析は考慮しておらず，今後の課題として挙げられる．

[参考文献]

- 1) 消防庁：阪神・淡路大震災の記録 1，1996
- 2) 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

- 3) 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
- 4) 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振興会，pp.97-104，2000
- 5) 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 . 3
- 6) 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，1993 . 3，京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
- 7) 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
- 8) 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—，2000.3，pp.91-96
- 9) 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である。（承認番号 平 8 総複、第 2 6 号）