

時空間 GIS を利用した阪神・淡路大震災における住民特性分析の試み Three-way Data Analysis for GIS Data including the Hanshin-Awaji Earthquake

影山 大十
Hiroshi Kageyama

辻 光宏†
Mitsuhiro Tsuji

1. はじめに

阪神・淡路大震災における被災状況と、社会調査をもとにした住民特性とに関連した複雑な構造を、多様な側面から分析することを試みた。GIS での時空間と地理空間に配慮した連続的あるいは離散的な 3 元データ分析を適用し、得られた複数の地図情報を同時に動的に表現した。

2. GIS と空間分析

日本では、1995 年 1 月の阪神淡路大震災が契機となり、そこから空間データ基盤の整備が盛んに行われるようになった。同年 9 月に「地理情報システム関係省庁連絡会議」が設立されたのを始めとし、1996 年 12 月に「国土空間データ基盤の整備および地理情報システムの普及と促進に関する長期計画」が立てられ、地理情報の整備と相互利用の環境づくりに取り組んだ。この長期計画に引き続き、2002 年に「GIS アクションプログラム 2002-2005」、またその後続として、2007 年には「GIS アクションプログラム 2010」も発表された。2007 年には「地理空間情報活用推進基本法」も成立され、それをうけて国土地理院のホームページでは、基盤地図情報の閲覧やダウンロードができるようになった(国土地理院,2007)。

日本の空間データ基盤の整備が阪神淡路大震災を契機としているように、空間データの基盤は、現代社会問題の解決に大きく寄与するものである。現代の社会問題は、自然的、社会的、経済的などの要因と、地理的要因が絡み合っている問題が多い(野上ら,2006 など)。

3. 時空間 GIS

市区町村の地域単位に収集された、さまざまな社会調査データのような多変量データの中で、定期的に収集されたデータは、時空間 GIS データの形式をとる。

時空間 GIS データに対する統計解析は、地理空間と時空間の特性を併せ持つので、非常に複雑なものになる。その不確実な潜在構造の探求と合理的な統計解析の役割は、詳細に検討すべき事項である(Cressie and Wikle,2011)。

3.1 阪神・淡路大震災と時空間 GIS

阪神・淡路大震災に対して、事後評価を継続的に行う空間分析にも注目が集まり、さまざまな時空間 GIS の取り組みが行われてきた。

たとえば、桐村(2010)では、自己組織化マップ(SOM)を用いた時空間分析を実施した。最初の段階で、被害デー

タを地図表示することで被害状況に基づいて地域を限定した。神戸市の既成市街地(東灘区、灘区、中央区、兵庫区、長田区の全域と、須磨区の一部)である。つぎに、その居住者特性を、5 年に一度の国勢調査のデータから抽出した。居住者特性それぞれに対して自己組織化マップを利用して、時空間的分析を行っている。SOM 手法を採用した背景としては、従来の主成分分析などの情報圧縮手法では元のデータ情報を薄めてしまう危険性があるため、クラスターに相当するニューロンを駆使すると同時に、低次元にマッピングした。この分析の解釈として、被害の大きかった地域での高齢者の増加や、被害が大きく利便性の高い地域では、若年単身者や家族を主体とした構成に変化したことが示されている。

3.2 被害データの地理空間上へのマッピング

建設省建築研究所(1996)により、阪神・淡路大震災における被害データを入手した。

全壊(低層, 中高層, 無壁, 不明)
半壊(低層, 中高層, 無壁, 不明)
一部損壊(低層, 中高層, 無壁, 不明)
全焼(低層, 中高層, 無壁, 不明)
未調査(低層, 中高層, 無壁, 不明)
被害なし(低層, 中高層, 無壁, 不明)

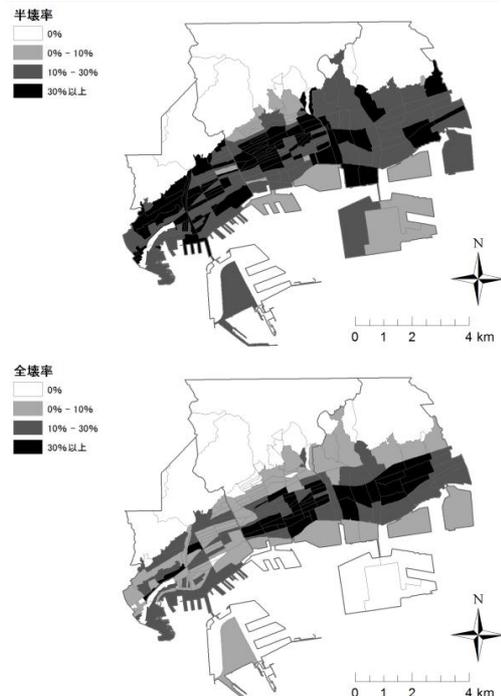


図 1 神戸市内 3 区での建築物被害
(上図は半壊の割合, 下図は全壊の割合を表す)

† 関西大学 総合情報学研究科

神戸市南東部の3区（東灘区、灘区、中央区）における建築物被害の様相を地図で確認した（図1）。

- ・鉄道、特にJR神戸線沿線での、建築物の全壊が多い
- ・中央区近辺は、建築物の半壊が多い
- ・阪神高速神戸線沿いでも、建築物の半壊が目立つ

さらに、災害の前後の推移を検証するために、5年ごとに実施される国勢調査から人口の時系列的推移を取り上げ、災害被害との関連性に注目した。

平成2年	世帯数, 人口, 男人口, 女人口
平成7年	世帯数, 人口, 男人口, 女人口
平成12年	世帯数, 人口, 男人口, 女人口
平成17年	世帯数, 人口, 男人口, 女人口

4. 3元データの分析

時空間GISデータに潜在する災害被害と住民特性情報の構造を解明する目的で、個人差のクラスタリングと多次元尺度構成法のアプローチを試行した。

対象間の距離モデルという共通の基本概念を持ち、同じ対象に対して個人差それぞれを調整した共通空間上で、最適な離散的構造（クラスタリングによる分類）あるいは連続的構造（多次元尺度構成法による低次元へのマッピング）を導出することができる（Arabie, Caroll と Desarbo, 1987；辻ら, 2012 など）。

本研究で取り扱うデータモデルは、以下のような2元と3元のデータである。

災害被害（全壊・半壊・一部損壊・全焼など）
× 地域（神戸市の3つの区の182の町）
国勢調査データ（人口、世帯数、年齢別人口など）
× 時間（5年周期）
× 地域

4.1 災害被害または人口を個人差とする地域を対象にした尺度構成法 INDSCAL モデル分析

地域を対象として、新しく導出する低次元空間上に類似している（距離が近い）地域をできる限り集めるように連続的に布置する。得られた座標値を地理空間に濃淡表示することで、地域を特徴づけることができる。同時に、布置を得るための個人の重みを参照することによって、座標値の特性を把握することができる。

数式モデルで記述すると、以下のようなになる。距離行列 $D \equiv \{d_{ij,k}\}$ を、入力データ行列 $\Delta \equiv \{\delta_{ij,k}\}$ から推定する。ここで、距離 $d_{ij,k}$ は、個人（災害被害または人口）の共通空間上での地域の i 番目と j 番目の間の類似度（距離）であり、入力データ $\delta_{ij,k}$ は、個人（災害被害または人口） k ($k = 1, \dots, K$) に対する地域の i 番目と j 番目の間の類似度（距離）である。距離 $d_{ij,k}$ は、次式で表現される。

$$d_{ij,k} = \sqrt{\sum_{r=1}^R w_{kr}(x_{ir} - x_{jr})^2}$$

ここで、 w_{kr} は、個人（災害被害または人口） k ($k = 1, \dots, K$) に対する次元 r ($r = 1, \dots, R$) に沿った重要度の重みであり、 x_{ir}, x_{jr} は R 次元の災害被害または人口の共通空間の次元 r 沿いでの地域の i 番目と j 番目の連続的な布置である。地域と災害被害状況または人口の推移との関係が示される。

SINDSCAL 解によって計算を進めた。最適化計算アルゴリズムであるので、布置の初期値を乱数発生させて 1000 回以上試行し、最適解に近づける。今回の災害被害または人口を個人差とする INDSCAL のデータに対しては、安定した解を得ることができた。判定のための VAF は、0.47886 (2 次元), 0.54699 (3 次元), 0.63793 (4 次元) であった。ここでは、3 次元解について説明する。

第1軸、第2軸、第3軸に関する重みにより、それぞれの軸の方向性を示した。

- ・第1軸では、主には人口に関する重みをもっとも目立った（平成2年世帯数 0.893, 人口 0.922, 平成7年世帯数 0.949, 人口 0.951, 平成12年世帯数 0.97, 人口 0.986, 平成17年世帯数 0.949, 人口 0.849）。
- ・第2軸では、災害データで建屋が不明なもの重みが目立った（全壊 0.984, 半壊 0.978, 一部損壊 0.981, 未調査 0.676, 被害なし 0.975）。
- ・第3軸では、災害データでいくつかの項目の重みが大きくなった（半壊中高層 0.878, 一部損壊中高層 0.844, 全壊中高層 0.708, 被害なし中高層 0.536, 未調査中高層 0.432, 半壊低層 0.314, 全壊低層 0.277, 平成2年世帯数 0.044, 平成7年人口 -0.04）。

災害に関する明確な要素と関係して、さらに人口に関する情報とも結びつくのは、第3軸であった。第3軸の布置座標を地図表示することによって、損壊がひどい地域が提示され、平成7年には人口減少の傾向がある地域を特定化することができる（図2）。

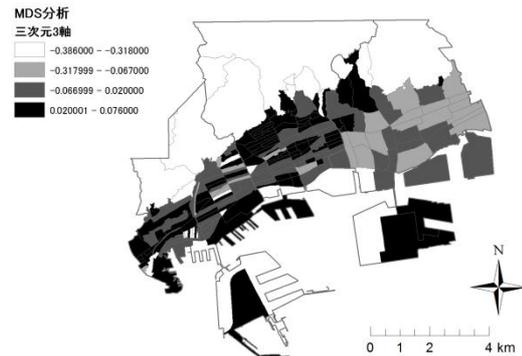


図2 INDSCAL モデル分析 3次元解の第3軸

4.2 災害被害状況を個人差とするクラスタリング INDCLUS モデル分析

地域を対象として、INDSCAL と同じ距離データを入力し、与えた個数のクラスターを離散的に導出する。クラスター生成のための個人の重みを参照することによって、クラスターの特性を把握することができる。

INDCLUS モデルは、次式によって表現される。

$$s_{ij,k} \cong \sum_{r=1}^R w_{kr} p_{ir} p_{jr} + c_k$$

ここで、 $s_{ij,k}$ は個人（災害状況） k ($k = 1, \dots, K$) に関する地域 i と地域 j との間の類似度であり、 w_{kr} はクラスター r に対する個人（災害状況） k の重みである。 p_{ir} は

- ・地域 i がクラスター r に属するか ($p_{ir} = 1$)
 - ・地域 i がクラスター r に属さないか ($p_{ir} = 0$)
- を示し、 c_k は個人 k の追加の定数である。

INDCLUS によって得られるクラスタリング解は、非階層で重複型である。例えば、クラスター個数 3 の解とクラ

スター個数 4 の解との間には、樹状図のような連続性がない（非階層）。また、対象の地域は複数のクラスターに同時に所属することが可能である（重複型）。これらの特性を活かしながら、クラスター解を地図表示するには、次節で説明するマトリックスタイプの動的グラフィックス適用が妥当である。

例として、クラスター個数 5 の場合（VAF 値 0.391）を報告する。

- ・第 1 クラスターに関する重みは、人口に関するすべてと無壁のすべての損壊情報とが高い（地域数 180）。
 - ・第 2 クラスターに関する重みは、不明の損壊情報と全焼に関するものすべてと全壊（低層）が高い（地域数 172）。
 - ・第 3 クラスターに関する重みは、人口に関するすべてと低層の全壊・半壊・未調査とが高い（地域数 153）。
 - ・第 4 クラスター以降の重みは、不明の損壊情報（-）と人口に関するすべて（+）とが高い（地域数 9）。
- クラスターに属する地域を地図に表示することによって、例えば、人口が多い地域で低層の損壊が多い地域は、灘区全般と中央区のほぼ全域と東灘区の海岸沿いであることが確認できた（図 3）。

5. マトリックスタイプの動的グラフィックス提示

複数の地図を同じ画面上で同時に提示するマトリックスタイプの動的グラフィックスによって、同時にズームイン／ズームアウトすることで潜在的な構造を適当な大きさの地図で示すことができる。時空間の GIS データ情報を動的グラフィックス提示で視覚化する目的で、Schneiderman と Pleasant の information-seeking mantra の考えである「まず全体像を見て、その後ズームなどを行い、必要に応じて詳細を見る」ことを提示部分に適用した。すなわち、RIA の技術を適用して、ズーム機能やドラッグ機能がスムーズに実行できるように工夫し、操作性の向上に努めた（辻ら、2009）。

INDCLUS（クラスタリング）と INDSCAL（尺度構成法）の統合による利点は、以下のとおりである。

- ・INDCLUS の分類結果が地理的に離散的に図化できる
 - ・INDSCAL の布置結果が地理的に連続的に図化できる
- 同じ画面上で異なる種類の地図を同時に複数提示することにより、潜在的な構造をさまざまな視点から明らかにすることができる。

6. 今後の課題

個人差を考慮した INDSCAL および INDCLUS を用いて、地震に関する損壊情報空間と人口情報空間とを連続的および離散的に潜在構造を導出することを試行した。

どちらの分析も布置およびクラスター構成の初期値をさまざまに変化させることによって最適な構造を計算する。特に INDCLUS については最適性の指標である VAF 値が妥当な値とはなっていない。まだまだ計算を試行する必要がある。

今回の分析対象を南東の 3 つの区に限定した。しかしながら、特に全焼情報に関して被害の大きかった長田区を組み込むことで、多様な被害情報の分析が可能になるであろう。

時空間 GIS の重要な要素である時間推移の分析に関して

は不十分な報告となった。国勢調査データが 5 年ごとの実施であり、詳細な推移がつかめなかったことは否定できない。しかし、人口以外の住民情報を積極的に分析の対象とすることによって多様な情報を得ることができると期待して、今後も分析を進めたい。

7. 謝辞

本研究は、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「セキュアライフ創出のための安全知循環ネットワークに関する研究（研究代表者：堀雅洋（関西大学）」によって行われた。ここに御礼申し上げます。

参考文献

- Arabie, P., Carroll, J. D. and DeSarbo, W.S. (1987) : Three-way Scaling and Clustering, Sage, Newbury Park.
- 岡太彬訓・今泉忠共訳. (1990) : 3 元データの分析. 共立出版.
- 桐村 喬 (2010) : 自己組織化マップ (SOM) を利用した神戸市既成市街地における阪神・淡路大震災前後の居住者特性の変化に関する研究—時空間データの類型化と可視化—. 地理学評論 83-2: 151-175.
- Cressie, N. and WIKLE, C. K. (2011): Statistics for Spatio-Temporal Data. Wiley.
- 建設省建築研究所 (1996) : 平成 7 年兵庫県南部地震被害調査最終報告書 第 I 編 中間報告書以降の調査分析結果. 建設省建築研究所.
- 国土地理院 (2007) : GIS アクションプログラム 2010 ~ 世界最先端の「地理空間情報高度活用社会」の実現を目指して ~ (最終閲覧日 : 2012 年 7 月 26 日). <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/sokuitiri/190322/action.pdf>
- Shneiderman B. and Pleasant C. (2005): Chapter 14: Information Visualization, Designing the User Interface 4th edition, Addison Wesley, 2005
- 辻光宏, 名取良太, 紺社聖司, 木村真理子, 田中成典 (2009) : 地域活動に関する時空間 GIS 情報サービスの開発—投票行動と道路計画と経済状況の PHE 3 次元モデルの試行—. 情報処理学会. Vol.2009-CH-83, pp. 205-212.
- 辻光宏, 影山 大, 堀之内公亮, 下川敏雄, 田中成典 (2012) : 時空間 GIS データへの 3 方向データ分析のこころみ. 第 28 回ファジィシステムシンポジウム.
- 辻光宏, 影山 大, 下川敏雄 (2012) : 3 元データ分析による災害 GIS データ分析のこころみ. 日本行動計量学会第 40 回大会抄録集.
- 野上道男・岡部篤行・貞広幸雄・隈元崇・西川治 (2006) : 地理情報学入門. 東京大学出版.

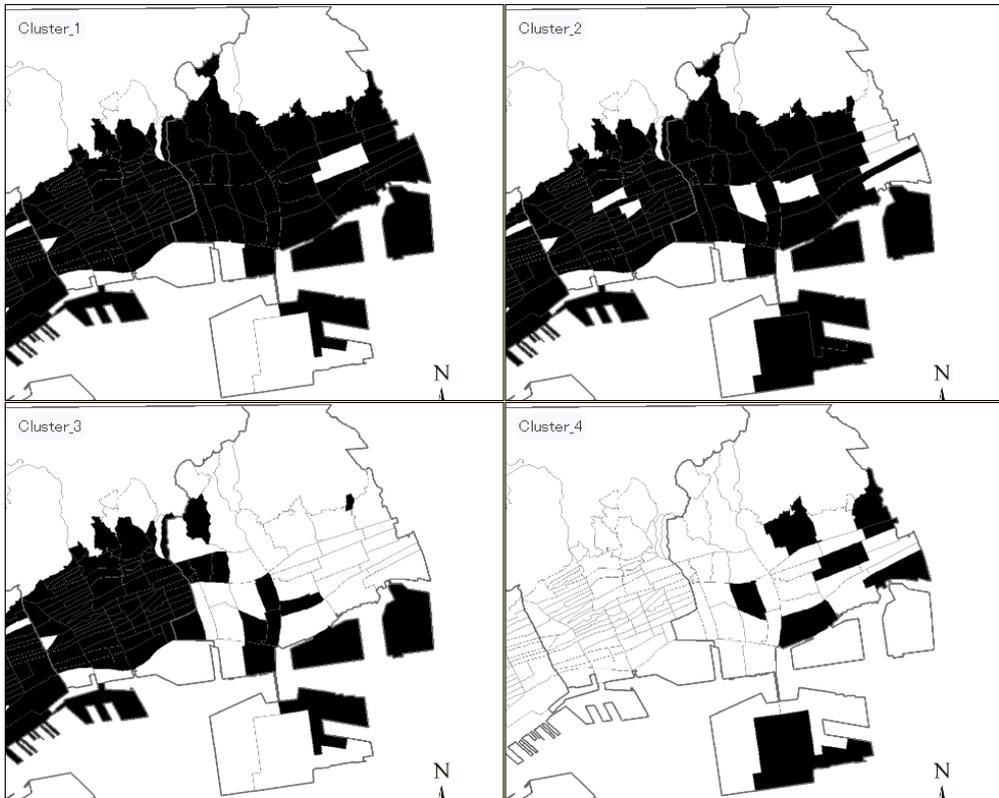
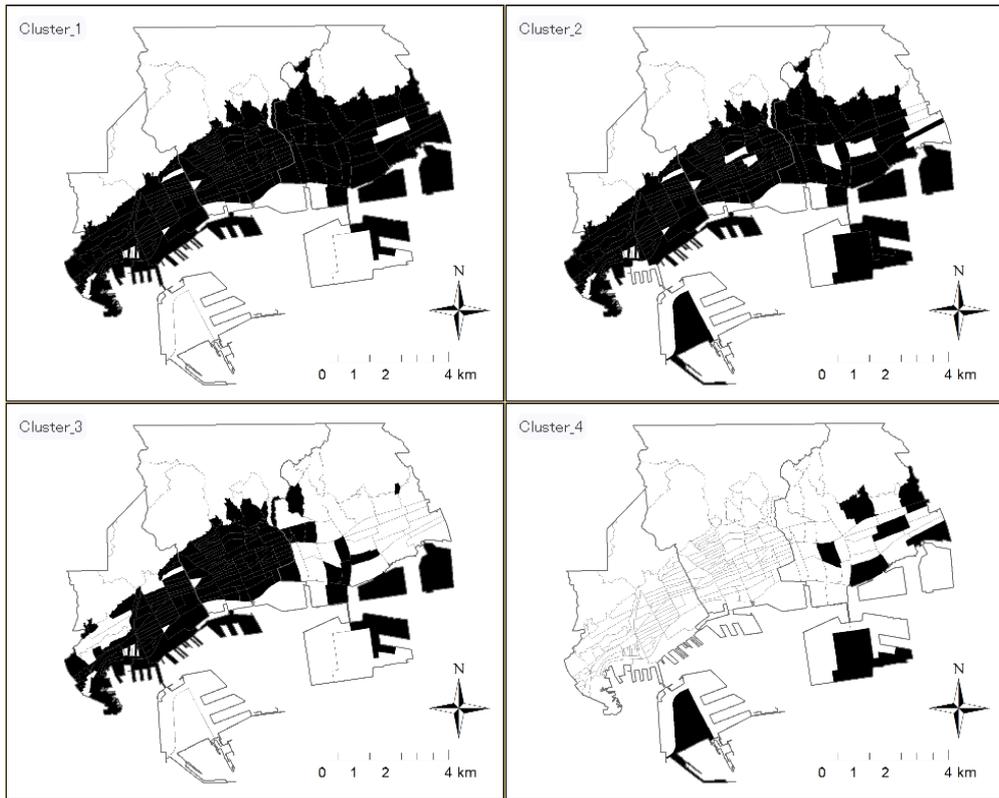


図3 INDCLUSモデル分析のマトリックスタイプの動的グラフィックス表示・ズームアップ画面
 (上下とも、左上図第1クラスター、右上図第2クラスター、左下図第3クラスター、右下図第4クラスターを表す)