

時空間統計手法による阪神淡路大震災後の人口回復過程に関する分析

京都大学大学院 学生員 松田 曜子
 京都大学防災研究所 正会員 岡田 憲夫
 京都大学防災研究所 正会員 多々納 裕一
 電力中央研究所 正会員 梶谷 義雄

1. はじめに 阪神大震災後の被災地における社会的・経済的活動の復興は、地域によって大きく異なる過程をたどっており、その背景には、物理的被害の甚大さ、地域の事情や特性（ローカリティ）、より広域での地域経済などの要因が複雑に絡んでいる。中小企業を多く抱える神戸市長田区において経済復興が順調に進んでいない要因として、震災自体による被害だけでなく、震災以後の関西地域における経済不況の影響が存在するものと推察される。

実データを用いて震災復興過程を定量的に分析する際、単一の経済指標を用いたデータの一次的分析のみによって、広域の要因もしくは地域の復興過程に寄与するローカルな要因をの一方を見過ごす可能性がある。この問題を解決するには、復興現象の「時間的変化」及び復興影響要因の「空間階層性」を考慮しなければならない。そこで、本研究では震災復興過程におけるこの2つの性質を考慮した時空間回帰モデルを構築する。次いで、上記に掲げた神戸市長田区を対象とし、人口回復過程に影響を及ぼす地域的要因の推定と、特定化したモデルの妥当性の検証を行う。

2. モデルの定式化 空間回帰モデルの一種である条件付き空間自己回帰モデル (Conditional spatial autoregression model, CAR) は、

$$Z(i) - \mu(i) = \rho \mathbf{W}(Z(i) - \mu(i)) + \varepsilon \quad (1)$$

で示すことができる¹⁾。 $\{Z(i) : i = 1, \dots, n\}$ は、2次元空間上に広がるデータの観測値、 $\mu(i)$ は地域 i における平均で、一定か互いに相関を持つ線形モデル、すなわち説明変数からなる行列 \mathbf{X}_i を用いて $\mu(i) = \mathbf{X}_i' \beta$ である。 $\{\mathbf{W} = (W_{ij}) : i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n\}$ は地域同士の結びつきの強さを表す所与の空間重み行列 (近傍行列) であり、後に詳述する。 ε は誤差項であり、 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 \mathbf{I})$ である。 ρ, σ^2 が推定するパラメータである。

$Z(i)$ に時空間過程を想定し、データ値 $\{Z(i, t) : i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T_0\}$ は時間軸上にもトレンドを持っているとすると、平均関数は時間的トレンド、空間的トレ

ンド、説明変数の3項より構成される。従ってある地域 i に着目すると、空間的トレンドは

$$\mu(i, t) = \alpha(t) + \mathbf{X}_i' \beta \quad (2)$$

で記述される¹⁾。

ここで空間的階層性に関する仮定を設ける。すなわち、式(2)における時間的トレンド $\alpha(t)$ は、全地域を対象とする変数 $\mathbf{Z}_t(t) \equiv \sum_i Z(i, t)$ に依存し、さらにこの $\mathbf{Z}_t(t)$ は広域の地域のデータ変動 \mathbf{Y}_t と、時間項 t によって説明されるとすると、 $\alpha(t)$ は以下のように与えられる。

$$\alpha(t) = \hat{\mathbf{Z}}_t(t) \quad (3)$$

$$\mathbf{Z}_t(t) = \mathbf{Y}_t' \beta_0 + \gamma t + \nu \quad (4)$$

ここで $\hat{\mathbf{Z}}_t(t)$ は $\mathbf{Z}_t(t)$ の推定値、 ν は誤差項である。以上の式(1)、式(4)より、本研究で提案する空間的階層性を考慮した時空間自己回帰モデルは以下の2式で定義される。

$$Z_t(t) = \mathbf{Y}_t' \beta_0 + \gamma t + \nu \quad (5)$$

$$Z(i, t) - (\hat{\mathbf{Z}}_t(t) + \mathbf{X}_i') = \rho \mathbf{W} \{Z(i, t) - (\hat{\mathbf{Z}}_t(t) + \mathbf{X}_i')\} + \varepsilon \quad (6)$$

ただし、 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 \mathbf{I})$ である。

3. 実証分析 式(5)、(6)によって定義されたモデルを神戸市長田区の実データにあてはめる。本モデルでは、対象とする最小の空間スケール $\{I : i \in I\}$ と、 I を含む上層の広域空間を定める必要がある。ここでは、 I に神戸市長田区の町丁目を、広域空間には阪神地域を想定した。

また、空間重み行列 \mathbf{W} を定義する。空間重み行列の定義については様々な方法が提案されているが、本研究では単純に、 \mathbf{W} は、ある2つの町丁目 i と j が共通の境界を持って接している場合に要素 $w_{ij} = 1$ とし、その行和を隣接する町丁目数で除して規準化することにより作成した。

次に、データセットは以下のように定める。被説明変数 $Z(i, t)$ は、町丁目ごとの人口推移 (平成2、7年の国勢調査と平成14年1月の住民基本台帳による) とし、広域のデータには、阪神地域全体の人口推移とGRPを想定した。

ローカルな地域の環境変数には多種多様な変数が考え得る。町丁目単位での地域の特徴として、とくに住民の属性と地域の環境を代理していると思われる変数を選んだ。以上の推定に必要なデータの内容を表-1 にまとめた。

表-1 パラメータ推定に用いるデータ

変数	内容	
被説明変数	町丁目人口(人)	長田区の町丁目別人口(1995年, 2000年, 2002年)
広域変数	阪神地域人口(人)	阪神地域の人口(1995/2月~2001/12月)
地域環境変数	最寄駅までの距離	長田区内の最寄駅までのマンハッタン距離 ($= x_2 - x_1 + y_2 - y_1 $)
	全壊率(%)	阪神淡路大震災による家屋の全壊率
	土地整理事業	神戸市による土地区画整理事業の有無を示すダミー変数
	24時間区民率(%)	自宅での就業者人口と区内に通う通学者人口の総人口に対する割合
	(長屋+木賃)率(%)	(長屋住宅・木造賃貸集合住宅の延べ床面積)/(全住宅延床面積)
	高齢化率(%)	65歳以上人口の総人口に対する割合
	容積率(%)	建物の延床面積の敷地に対する割合

次に、これらのデータをモデルに適用した結果を表-2, 3 に示す。表-2 は、震災前後の広域変数のパラメータ推定結果である。人口データの γ の推定値より、長田区では震災前から人口が減少傾向にあり、その傾向は震災後加速していることを示す。一方、GRP データでは震災後増加傾向に転じている。

地域環境変数の推定は、 ρ : 環境変数なしのモデル (Null model), β_0 : すべての環境変数を含んだモデル (AllFactors model), γ : ρ のうち統計的に有意でない変数を除去して得られたモデル (Final model) の3段階を踏んで行った。そのうち、 ρ と β_0 のパラメータ推定結果を表3 に示す。

表-2 広域変数パラメータの推定結果

震災前		
長田区	人口 (t-value)	GRP (t-value)
(定数項)	103427 *** (-3.86)	-126655 (-1.17)
阪神地域 β_0	0.01 (1.11)	0.58 *** (22.15)
時間 γ	-161 *** (-11.37)	-5221 (-0.65)
震災後		
長田区	人口 (t-value)	GRP (t-value)
(定数項)	-767208 *** (-31.25)	-719619 (-0.15)
阪神地域 β_0	0.29 *** (35.46)	0.57 (-1.98)
時間 γ	-570 *** (-31.49)	26722 (-0.22)

1) ***, **, * は推定値がそれぞれ1%, 5%, 10%の水準で有意であることを示す。

の値は全て符号条件を満たしており町丁目人口データは空間的な関連があると言える。なお、各モデル間に対し尤度比検定を行った結果、 β_0 は ρ に対してそれぞれ有意な改善を行っていることが示された。

これらの推定結果から、高齢化率と24時間人口率の2つが比較的良好な水準で説明する変数となっている。高齢者

表-3 地域環境変数パラメータの推定結果

Variable	Null		Final	
	推定値	t値	推定値	t値
1995				
時間的トレンド ⁰ 95	134.11	-	224.71	-
最寄駅までの距離			436.73 **	2.03
24時間人口率			-143.30 **	-1.97
(長屋+木賃)率			114.45	1.58
高齢率			-1146.38 ***	-5.48
容積率			21.49	1.18
ρ (対数尤度)	0.1822(-3393)		0.1908(-2855)***	
2000				
時間的トレンド ⁰ 00	167.74	-	279.00	-
最寄駅までの距離			173.50	0.88
24時間人口率			-186.99 ***	-2.83
(長屋+木賃)率			99.88	1.52
高齢率			-819.86 ***	-4.31
容積率			17.95	1.08
ρ (対数尤度)	0.1821(-3350)		0.1912(-2823)***	
2002				
時間的トレンド ⁰ 02	168.22	-	267.67	-
最寄駅までの距離			146.97	0.72
24時間人口率			-168.64 **	-2.46
(長屋+木賃)率			101.36	1.48
高齢率			-806.13 ***	-4.08
容積率			21.78	1.26
ρ (対数尤度)	0.1819(-3371)		0.1912(-2836)***	

1) ***, **, * は推定値がそれぞれ1%, 5%, 10%の水準で有意であることを示す。

2) *** は尤度比検定結果が1%の水準で有意であることを示す。

の多い地域では、震災後に周辺に人口が分散し現在も戻ってきていないことを示しており、高齢者の割合がその地域の人口復興を左右することが推測される。また、24時間人口の係数が正で有意であることは、中小企業の多い地域で人口の現象が激しいことを示している。以上の結果は広域の変動の影響を取り除いた後でも、やはり震災ダメージがこれらの地域の復興を阻害していることを示唆している。

4. おわりに 本研究では、震災復興の空間的階層性という特徴を定量的に評価するために時空間回帰モデルを用いたモデルを構築し、実データに適用した。地域の復興に影響を及ぼす要因が何であるかを統計的に検証し、本モデルが被災地域における経済復興現象を解析するのに有効であることを示した。

本研究のようなマイクロな視点に根ざした分析による知見は、とかく地域住民の意思との乖離が指摘される、被災地に対する防災投資規模や配分等の政策診断や、脆弱性が高い地域の特徴を定量的に明らかにする都市診断に対して裏付けを与えるという意味で、重要な意義を持つであろう。しかし、本モデルの結果を信頼しうる都市診断の材料として採用するためには、特に異なる被説明変数や近傍行列の定義等を用いた実証分析の積み重ねが望まれる。

参考文献

- 1) Cressie, Noel A. C. : *Statistics for spatial data revised edition*, Wiley-Interscience publication, 1993.
- 2) Haining, R. : *Spatial data analysis in the social and environmental sciences*, Cambridge University Press, 1990.