

京都大学 学生員 ○松田 曜子 京都大学防災研究所 正員 岡田 憲夫  
 京都大学大学院 学生員 梶谷 義雄 京都大学防災研究所 正員 多々納 裕一

### 1 はじめに

大地震後の被災地における経済活動が復興する過程は一律ではなく、地域によって大きな差異が生じていることはよく知られている。しかしその背景には、物理的被害の甚大さ、地域の事情や特性（ローカルティ）、より広域での経済状況などの要因が複雑に絡んでいる。従って、地域の単一経済指標を用いたデータの一次的分析だけによっては、広域及び地域の復興過程に寄与するローカルな要因を分析することは難しい。

そこで本研究では、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た時空間回帰モデルを構築する。次いで、震災復興期と不況が重なり復興が遅れているといわれる神戸市長田区を対象とし、人口復興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

(1) 時空間回帰モデル 空間統計学の分野でよく用いられる条件付き空間自己回帰モデル (Conditional spatial autoregression model, CAR) は、推定されたパラメーターにバイアスが存在しないことが知られている。本研究においてもこのCARモデルをベースとした時空間モデルを構築する。CARモデルは、

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

で示することができる<sup>1)</sup>。 $\{Z(i) : i = 1, \dots, n\}$  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。 $\varepsilon$  は誤差項であり、 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 \mathbf{I})$  である。 $\rho$ 、 $\sigma^2$  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<sup>1)</sup>。

(2) 空間的階層性のモデル化 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  $Z_t(t) \equiv \sum_i Z(i, t)$  に依存し、さらにこの  $Z_t(t)$  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。

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

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

$\hat{Z}_t(t)$  は  $Z_t(t)$  の推定値、 $\nu$  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ように与えられる。

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

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

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

### 3 実証分析

(1) 変数の特定 まず、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。被説明変数  $Z(i, t)$  は、町丁目ごとの人口推移 (平成2年、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を想定して、それぞれ式(4)による空間的トレンドの推定を行った。推定結果の詳細は省略するが、人口データのみに有意な推定結果が得られたので阪神地域の人口を広域データ  $\mathbf{Y}_t$  として用いた。

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	町丁字人口(人) 長田区の町丁字別人口(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勤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)/(全住宅延べ床面積)
	高齢化率(%) 65歳以上人口の総人口に対する割合
	容積率(%) 建物の延べ床面積の敷地に対する割合

(2) 推定結果と解釈 表1に掲げたデータを用いてパラメータの推定を行った。まず、表2に広域変数のパラメータ推定結果を示す。

表2 広域変数パラメータの推定結果

	人口		GRP	
(定数項)	-767208	***	-719619	
$\beta_0$	0.290	***	0.574	
$\gamma$	-570.228	***	26721.774	

次に、地域環境変数の推定は、①:環境変数なしのモデル(Null model), ②:すべての環境変数を含んだモデル(AllFactors model), ③:②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。以上のようにして得られた3モデルのパラメータ推定結果を表3に示す。

なお、上記に示すように、各モデル間に対し尤度比検定を行った結果、②は①に対し、③は②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つが比較的良い水準で説明する変数となっている。高齢者の多い地域では、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

表3 地域環境変数パラメータの推定結果

Model	Null			AllFactors			Final		
	Value	Pr(> t )		Value	Pr(> t )		Value	Pr(> t )	
1995	時間トレンド'95	134.1139	-	283.7738	-		224.7121	-	
	最寄駅までの距離			374.8506	0.1013		436.726 **	0.0438	
	全壊率			-79.5892	0.2722				
	土地区画整理事業			34.502	0.5822				
	24時間人口率			-145.377 **	0.0474		-143.298 **	0.0495	
	(長屋+木賃)率			104.7319	0.1548		114.4458	0.1152	
	高齢率			-1098.18 ***	0		-1146.38 ***	0	
			22.5185	0.2203		21.4932	0.2405		
2000	時間トレンド'00	187.7428	-	308.0578	-		279.0032	-	
	最寄駅までの距離			191.2279	0.3613		173.5022	0.3787	
	全壊率			26.8087	0.6848				
	土地区画整理事業			-19.0871	0.7387				
	24時間人口率			-185.848 ***	0.0056		-186.987 ***	0.005	
	(長屋+木賃)率			102.7928	0.1251		99.8828	0.1308	
	高齢率			-838.283 ***	0		-819.893 ***	0	
			17.5124	0.2955		17.9453	0.2818		
2002	時間トレンド'02	188.2182	-	256.5505	-		267.8878	-	
	最寄駅までの距離			184.7344	0.2959		146.999	0.4727	
	全壊率			27.0337	0.8931				
	土地区画整理事業			11.9077	0.841				
	24時間人口率			-170.331 **	0.0141		-168.839 **	0.0145	
	(長屋+木賃)率			106.8843	0.1246		101.3645	0.1398	
	高齢率			-818.92 ***	0.0001		-808.13 ***	0.0001	
			21.8785	0.2124		21.7842	0.2082		

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。広域でのトレンドを除去した後の変動に空間回帰モデルを当てはめることにより、真に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。

本研究のようなミ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.