

阪神・淡路大震災が交通行動に及ぼした影響に関するパネル分析*
An analysis of the effects of Hanshin-Awaji earth quake to travel behavior
based on panel analysis approach

藤井 聡** 北村隆一*** 柘植章英**** 大藤武彦*****
Satoshi Fujii, Ryuichi Kitamura, Akihide Tsuge, Takehiko Daito

1. はじめに

1995年1月17日の阪神・淡路大震災は、多くの人命を奪い、交通網やライフライン等の都市機能を壊滅させただけでなく、人々の価値観等の心理的な影響も与えた。その結果、被災地の居住者は生活行動の変更を余儀なくされた。人々の生活行動はどのように変化したのか、そして、その変化の要因には何が存在したのか、これらを分析することは、今後、大規模な自然災害の発生を想定し、かつ、それを十分に考慮した都市計画・交通計画を検討するためには、不可欠であると考えられる。

我々は、1994年4月に延伸供用された阪神高速道路湾岸線の供用効果を生活時間利用、生活圏の観点から分析するために、供用前の1993年11月に第一次調査(Wave 1)を、供用後の1994年11月に第二次調査(Wave 2)を行うパネル調査を実施した。被験者については、パネル調査の実施に先立ち、予備調査を実施することで抽出した。予備調査では、設問項目の少ない調査票を、神戸市、阪神地域を含む大阪湾岸地域の居住者を中心として抽出した7,000世帯と、湾岸線競合路線利用者に手渡しで10,500人に調査票を配付した。

そして、Wave 2終了以後の1995年1月、甚大な被害を与えた阪神・淡路大震災が起こった。そこで我々は、この震災が個人の生活行動に及ぼした影響をパネル分析のアプローチに基づいて把握することを目的として、震災から約5ヶ月が経過した1995年6月に、先のパネル被験者を対象に第三次調査(Wave 3)を実施した。なお、震災後のWave 3では、3489世帯に配布、526世帯(15.1%)から916人の調査票を回収した。

本研究では、こうして得られたパネルデータを用いて、パネル分析手法に基づき、震災が個人の生活時間利用、生活圏に及ぼした影響を分析する。

* キーワード: 阪神・淡路大震災, パネルデータ, 交通行動分析,

** 正員 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻

*** 正員 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
(〒606-01 京都市左京区吉田本町)

**** 正員 阪神高速道路公団大阪第一建設部
(〒542 大阪市中央区西心斎橋1-2-4)

***** 正員 株式会社都市交通計画研究所
(〒540 大阪市中央区釣鐘町1-1-11)

2. 来訪頻度モデルに基づく震災影響分析

生活圏の調査項目では、個人の活動を、

- 日常活動 : 買い物, 飲食, 私的な訪問等
- 非日常活動 : 旅行, 日帰りレジャー, 映画等
- 業務活動 : 仕事, 業務, アルバイト等

の3つのカテゴリーに分割した。そして、Wave 1, Wave 2では上記の三つの活動目的で、Wave 3では、日常活動、業務活動の二つの活動目的で、湾岸地域の12地域(大阪市, 北大阪, 北河内, 南河内, 東大阪, 泉北, 泉南, 神戸市臨海部, 神戸市内陸部, 阪神間, 和歌山市周辺, 明石・加古川市)のそれぞれに一月間で訪れる回数(以下、来訪頻度)をデータとして得た。

ここでは、Wave 1~Wave 3までの日常活動目的での3つの来訪頻度を内生変数とする構造方程式¹⁾を定式化する。そして、OD所要時間、居住地アクセシビリティ等の要因が来訪頻度に及ぼす影響の強度を、構造方程式のパラメータから把握し、それらを被災地/非被災地別に震災前後で比較する。

パラメータの被災地/非被災地別の相違に着目する本章での分析では、来訪頻度を内生化した構造方程式を構築するにあたり、簡便な交通需要予測手法であるDirect Demand Model²⁾の考え方を適用した。すなわち、ある個人の12個の来訪頻度における誤差項は互いに独立であると仮定し、それぞれを個別に内生化した方程式を定式化した。

また、来訪頻度は非負の変数であることから左側打ち切り変数と仮定した。以上の前提に基づいて以下のような構造方程式を定式化した。

$$\begin{pmatrix} F_1^* \\ F_2^* \\ F_3^* \end{pmatrix} = \mathbf{H} \begin{pmatrix} F_1^* \\ F_2^* \\ F_3^* \end{pmatrix} + \mathbf{AZ} + \pi \quad (1)$$

$$F_i^* = \begin{cases} F_i^* & \text{if } F_i^* > 0 \\ 0 & \text{if } F_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

F_i : 時点(Wave) t でのある目的地への来訪頻度

F_i^* : 来訪頻度 F_i に対応する潜在変数

Z : 外生変数ベクトル

表-1 来訪頻度モデルの外生変数の定義

・個人属性・居住地属性	
Sex	: 女性は1, 男性は0
Age	: 年齢(連続変数)
License	: 運転免許保有なら1, 非保有なら0
RAShop	: 居住地域の商店数密度(連続変数)
Acce	: 居住地のアクセシビリティ指標
・目的地属性・OD属性	
CTime	: 目的地までの自動車所要時間
TTime	: 目的地までの電車所要時間
BTNum	: 目的地地域の業務目的での集中交通量
DAShop	: 目的地地域の商店数密度(連続変数)
BayDest	: 目的地が大阪湾岸地域なら1, それ以外0
EQDest	: 目的地が被災地域なら1, それ以外0
WArea	: 目的地と勤務地が一致, それ以外0
Rarea	: 目的地と居住地が一致, それ以外0

H, A : パラメータベクトル

π : 多変量正規分布に従う誤差項ベクトル

個人が各目的地のそれぞれに一月間に訪れる回数である来訪頻度は、その個人の一月間の交通発生回数(以下、発生頻度)と、各目的地の選択確率の両者に依存する。本研究では、個人属性や居住地属性等のその個人固有の変数は発生頻度に影響を及ぼし、目的地属性やOD属性等の同一個人であっても目的地によって異なる変数は目的地選択確率に影響を及ぼすものと考え、外生変数 Z として表-1 に示した変数を用いることとした。なお、BayDest を説明変数として用いるのは、Wave 1 と Wave 2 の間に延伸供用された阪神高速道路湾岸線の供用効果を考慮するためである。また、地域別のアクセシビリティ指標は、 $Acce_i$ を地域 i のアクセシビリティ指標、 A_j を地域 j の小売り店舗数、 T_{ij} を地域 i, j 間の地域間所用時間として、以下の式に基づいて求めた³⁾。

$$Acce_i = \sum_j \frac{A_j^{1.2}}{T_{ij}^{3.6}} \quad (3)$$

推定の際には、被災地居住者、非被災地居住者の意思決定構造の時間軸上での変遷の相違を比較するために、統計的有意性の有無に関わらず、全ての変数のパラメータを推定することとした。

ここで、状態依存が存在するにも関わらずそれを無視した場合には、パラメータにバイアスが含まれることとなる。また、震災後のパラメータ推定値にバイアスが存在する場合、パラメータの変遷の相違を比較することで震災の影響を把握する際に、適切に震災の影響を把握することが困難となる。そこで、Wave 3 でのパラメータに含まれるバイアスを軽減するために、式(2)のパラメータ行列 H を、

$$H = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ h_1 & h_2 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

表-2 来訪頻度モデルの推定結果

		Sample Size:696(=58 × 12)					
(非被災地居住者)		Wave1:震災前		Wave2:震災前		Wave3:震災後	
変数名		パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
93年来訪頻度						0.183	5.11
94年来訪頻度						0.146	4.09
Sex	0.069	1.89	0.037	1.04	0.096	3.00	
Age	0.068	1.84	-0.046	-1.27	-0.045	-1.39	
License	-0.068	-1.98	0.055	1.64	-0.100	-3.32	
RAShop	-0.039	-1.02	-0.055	-1.44	-0.151	-4.61	
Acce	-0.044	-1.22	0.080	2.25	0.041	1.27	
CTime	-0.180	-2.64	-0.108	-1.60	-0.142	-2.62	
TTime	-0.039	-0.53	-0.030	-0.41	-0.143	-2.66	
BTNum	0.305	6.24	0.365	7.67	0.119	2.58	
DAShop	0.046	0.90	0.047	0.92	0.082	1.80	
BayDest			0.094	2.56			
EQDest					-0.109	-3.57	
WArea	0.021	0.58	0.086	2.49	0.077	2.46	
RArea	0.131	3.38	0.037	0.96	0.115	3.52	
決定係数		0.453		0.450		0.567	
χ^2 -Square:25.019		GFI:0.9999		AGFI:0.9957			

		Sample Size:408(=34 × 12)					
(被災地居住者)		93年度:震災前		94年度:震災前		95年度:震災後	
変数名		パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
93年来訪頻度						0.440	6.38
94年来訪頻度						0.108	2.48
Sex	-0.033	-0.78	0.006	0.13	0.052	1.36	
Age	0.155	3.47	0.075	1.48	0.017	0.41	
License	-0.112	-2.33	0.035	0.65	-0.035	-0.79	
RAShop	-0.010	-0.22	0.081	1.50	-0.026	-0.62	
Acce	-0.100	-2.03	-0.077	-1.37	-0.017	-0.38	
CTime	-0.361	-4.79	-0.129	-1.35	-0.131	-1.96	
TTime	-0.113	-1.20	-0.155	-1.32	-0.027	-0.34	
BTNum	0.246	4.93	0.377	6.92	0.133	2.60	
DAShop	0.054	0.82	0.024	0.32	0.000	-0.01	
BayDest			0.084	1.69			
EQDest					0.079	1.76	
WArea	0.037	0.91	0.069	1.48	0.113	2.98	
RArea	0.117	2.70	0.055	1.12			
決定係数		0.224		0.415		0.507	
χ^2 -Square:103.72		GFI:0.9992		AGFI:0.9895			

と特定化した。

以上の前提に基づいて、Wave 1~Wave 3 までの全ての時点における全目的地に対する来訪頻度、および来訪頻度に対する影響要因の双方を不備なく回答した 92 名(非被災地居住者 58 名、被災地居住者 34 名)から得られた来訪頻度データを対象として、重み付き最小二乗法で推定した結果を表-2 に示す。なお、目的地域数が 12 であることから、推定時のケース数は合計 1104 である。

各時点の来訪頻度に関する決定係数に着目すると、震災後のものが被災地、非被災地のいずれにおいても最も良好な値を示している。これは、式(4)の様に内生変数間の関係を特定化したためである。外生変数に関するパラメータに着目すると、震災前である Wave 1, Wave 2 の双方において、被災地居住者モデルと、非被災地居住者モデルとの間に相違があることが分かる。この相違は、パネル

サンプルの規模を考慮すると、被災地、非被災地のサンプル構成に相違があるためと考えられる。しかし、いずれの居住地域のサンプルもパネルサンプルであるため、時間軸上でのパラメータの変遷は、サンプル構成の相違によって生じたものではない。Wave 間で生活環境・交通環境の変化したこと、および状態依存を考慮することによってパラメータが変化したものと思われる。ここで、状態依存を定式化したことで Wave 間のパラメータが変化することを考慮した上で、生活環境・交通環境の変化によるパラメータの変化を読み取るためには、被災地／非被災地でのパラメータの変遷自体を比較することが必要となる。

DAShop に着目すると、いずれの時点、いずれの居住地域においても有意なパラメータが推定されていないものの、震災後の被災地では、震災前に比べて極めて小さな値(0.000)が推定されている。この傾向は、非被災地では見られない。このことから震災以後、被災地居住者がトリップを実行する際に目的地の商業活動の程度を考慮する、という傾向が低下したものと考えられる。

また、震災後の非被災地居住者の EQDest のパラメータが有意に負となっていることから、非被災地居住者の被災地に対する来訪頻度が有意に低下していることが確認できる。なお、被災地居住者の EQDest のパラメータが正となっているのは、居住地域への来訪頻度が高いことを示すものである。

OD 間の移動抵抗を示す CTime, TTime に着目すると、いずれの時点、いずれの地域においても、自動車の所要時間は来訪頻度に対して負の影響を与えていることが確認できる。電車所要時間に関しては、非被災地においては、電車所要時間のパラメータは震災前では有意でないが、震災後有意となっている。一方、震災後には、震災前と比較するとパラメータ、t 値の双方が大幅に小さなものとなっている。これらは、震災後において、被災地居住者が目的地を選択する際、自動車での所要時間を考慮する一方で、電車での所要時間を重視しない傾向にあることを示している。これは、Wave 3 の調査時点では、阪神間の鉄道路線は完全に復旧しておらず(不通区間:阪急御影-西宮北口、阪神御影-西灘)、被災地の公共交通のサービス水準は著しく低下していたことが原因であると考えられる。すなわち、公共交通機関のサービス水準が低下した状況では、公共交通機関を使わない／使えないために目的地選択に影響を及ぼさない、あるいは、公共交通機関を利用する場合でも移動時間に対する抵抗感が低下している、ものと考えられる。これについては、機関選

択行動も考慮した分析が今後必要であると考えられる。

3. 時間利用モデルに基づく震災の影響分析

ここでは、時間利用パネルデータに基づいて、震災が生活時間利用に及ぼした影響を分析する。その際、パネルデータの特徴を生かし、各々の個人の生活時間利用の経時的変化に着目するために、個人ごとの時間利用の変化量を内生変数としたモデルを構築する。本研究では、個人が実行する全ての活動を、移動、仕事、自宅外での仕事以外の活動(以下、宅外活動)、自宅内での活動(以下、在宅)の4つに分類³⁾、これらの各活動に従事した時間の震災前(Wave 2)／震災後(Wave 3)の変化量をパネルデータから各個人について求めた。ここで、上記の4つの活動の実行時間変化量の和は、すべての個人について0となるため、4つの活動のうち3つの活動の実行時間変化量を内生化し、以下のような構造方程式を定式化した。

$$\begin{pmatrix} D_w \\ D_t \\ D_r \end{pmatrix} = \mathbf{B} \begin{pmatrix} D_w \\ D_t \\ D_r \end{pmatrix} + \Gamma \mathbf{X} + \xi \quad (5)$$

D_t : 移動時間の変化量

D_w : 仕事時間の変化量

D_r : 宅外活動時間の変化量

D_h : 在宅時間の変化量

\mathbf{X} : 外生変数ベクトル

ξ : 多変量正規分布に従う誤差項ベクトル

\mathbf{B}, Γ : パラメータ行列

外生変数 \mathbf{X} としては以下の変数を用いた。

Acce : 居住地域アクセシビリティ指標変化量(式(3)で定義)

d1 : 居住地域の建物倒壊率が 0%より大きく 5%未満なら 1, それ以外は 0

d2 : 居住地域の建物倒壊率が 10%以上 15%未満なら 1, それ以外は 0

d3 : 居住地域の建物倒壊率が 15%以上なら 1, それ以外は 0

work : 就業者なら 1, 非就業者なら 0

age : 年齢 30 才未満なら 1, それ以外は 0

地域別の建物倒壊率は、新聞発表による建物被害棟数⁵⁾と震災前の建物総数⁶⁾に基づいてデータを作成した。なお、今回分析に用いたサンプルには、倒壊率が 5%以上 10%未満であった地域の居住者は含まれていなかったため、倒壊率が 5%以上 10%未満に対応するダミー変数は定義しなかった。また、倒壊率 0%に対応するダミー変数

表-3 時間利用変化に関する構造方程式の推定結果

	D _w	D _t	D _r	D _h	
B	D _w	-	-0.311 (-5.26)	-	
	D _t	-	-	-	
	D _r	-0.32 (-4.39)	-	-	
Γ	Acce	-	-0.04 (-5.11)	0.068 (8.99)	-0.033
	d1	0.17 (3.34)	0.091 (1.18)	-0.15 (-2.42)	0.014
	d2	0.087 (1.44)	-0.16 (-2.66)	-0.20 (-4.81)	0.19
	d3	-0.037 (-0.60)	0.16 (3.16)	-0.15 (-3.1)	0.06
	work age	-	0.14 (4.18)	-	-0.062
		-0.072 (-4.41)	0.12 (5.48)	-	0.022

の係数は基準値 0.0 であると仮定した。

以上の前提に基づいて、最尤推定法で推定した結果を表-3に示す。表-3には、式(1)とD_w、D_t、D_rに関するパラメータ推定値に基づいて、D_hに対する各々の外生変数のTotal Effectに関するパラメータ⁷⁾を算出した結果を右端に示した。

χ^2 値、AGFI より、良好な適合度が得られていることがわかる。B の推定結果に着目すると、移動時間が増加すると仕事時間が減少し、仕事時間の増加は宅外活動時間の減少の原因となることが確認できる。ここで、表-3に基づいて、D_tのD_rに対するTotal Effect⁹⁾を求めたところ、そのパラメータ、t値はそれぞれ 0.0981, 3.00 となった。これらの結果は、移動時間が増加することで仕事時間が減少する一方で、宅外活動時間は増加することを示している。

次に、Acce のパラメータに着目すると、アクセシビリティが低下した地域では、移動時間が増加し、宅外での活動時間は減少する傾向が示されている。これは、震災による交通のサービス水準の低下が移動時間の増加を招くことを示している。

倒壊率に関するダミー変数のパラメータ推定値に着目すると、仕事時間に関しては、倒壊率5%未満の被災地においては増加傾向が見られるものの、それ以上の被害を受けた地域ではその増加傾向は統計的に確認できない。また、倒壊率に関わらず、被災地では宅外活動時間が減少し、在宅時間が増加するという傾向が見られる。ただし、宅外活動時間、在宅時間の変化量が最も大きいのは、倒壊率が10%~15%の地域の居住者であることがわかる。移動時間に関しては、震災による被害が大きく、倒壊率が15%を超過していた地域の居住者の移動時間が増加していることがわかる。一方で、倒壊率10%~15%であった地域の居住者の移動時間は減少しており、倒壊率1%~5%であった地域の居住者は倒壊率0%の非被災地の居住者の移動時間変化量と有意差が確認できない。

この様に移動時間変化量と倒壊率との関係は非線形と

いう結果が得られた。これは、倒壊率の増加、すなわち被災規模の増大は、移動速度(以下、AVと表記)の低下を招くと共に、一日あたりのトリップ回数(以下 NTripと表記)の低下を招くことが原因と考えられる(なお、AVとNTripの低下については、時間利用パネルデータを用いたt検定より、統計的に確認した)。AVの低下は1トリップあたりの移動時間を増加させ、結果として一日あたりの移動時間を増加させる一方で、NTripの低下は一日あたりの移動時間を減少させる。そして、AVの低下と倒壊率の関係とNTripの低下と倒壊率の関係がそれぞれ異なっているため、移動時間変化量と倒壊率との関係は非線形となったものと考えられる。

4. 結論

本研究では、パネルデータを用いて震災が交通行動、生活行動に及ぼした影響を把握するためのモデル分析を行った。来訪頻度推定モデルに基づく分析結果からは、震災前後のパラメータ推定値の近くより、震災によってOD属性や目的地属性に関する個人の態度が変化していることがわかった。これは、意思決定構造にも震災が影響を及ぼしていることを示すものと考えられる。また、時間利用のモデル分析からは、アクセシビリティ指標で表現される交通のサービス水準の変化量と、倒壊率で表現される震災によって受けた被害の規模が一日に移動に費やす時間(移動時間)の変化要因であることが分かった。そして、移動時間は、仕事時間や宅外活動時間等の他の活動の実行時間に対して影響を与えていることが統計的に示された。

参考文献

- 1) 荒木敏, 藤井聡, 北村隆一: パネル分析手法に基づく個人の生活圏に関する分析, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第4部, -印刷中-, 1996.
- 2) Quandt, R.E.: The Demand for Travel: Theory and Measurement, Heath Lexington Books, pp. 83-101, 1975.
- 3) 石上肇, 藤井聡, 北村隆一: 個人の交通行動を考慮したアクセシビリティに基づいた都市モデルの構築, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第4部, pp. 490-491, 1995.
- 4) 門間俊幸, 藤井聡, 北村隆一: 時間利用パターンを考慮した就業者の交通行動分析, 土木計画学研究・講演集, No.18(1), pp. 321-324, 1995.
- 5) 読売新聞社: 阪神大震災の記録, 読売新聞日刊, p. 19, 1996.1.16.
- 6) 朝日新聞社: '94 民力, 1994.
- 7) Joreskog, K. and Sorbom, D.: LISREL V II-Analysis of Linear Structural Relation by Maximum Likelihood, Instrumental Variables, and Least Squares Methods, User's Guide. Department of Statistics, Univ. of Uppsala, Uppsala, Sweden, 1984.