

対数線形モデルによる交通行動 パネルデータの解析

Analysis of Transport Panel Data Using a Log-Linear Model

H.S.リダサン、 田村 亨、 石田 東生、 黒川 洸

By H.S.LIDASAN, Tohru TAMURA, Haruo ISHIDA, Takeshi KUROKAWA

Panel analysis has been explored and undertaken in the developed countries to analyze and study many aspects and issues of travel behavior which could not be tackled by cross-sectional analysis. However, there has been no panel studies conducted yet in the developing countries. It will be ascertained that utilizing panel data provide a more dynamic characterization of the changes in socio-economic and travel behavior of people over time. Accordingly, this paper discuss the attempt of introduce panel analysis in a developing country. As such, this paper focuses on : a) descriptive analysis of the changes between the waves, analysis, and b) analyzing the modal choice structures between the two waves using a log-linear model.

1. はじめに

ライフスタイルの変化や所得向上が人々の交通行動に与える影響等を把握する方法として、多時点の同一個人のデータ（パネルデータ）を利用した分析が近年盛んである。この方法は欧米先進国では研究事例があるが、調査の難しさや、調査バイアスの多さから開発途上国を例にした分析は殆どない。本研究の目的は、フィリピン・メトロマニラ市を対象として、開発途上国の交通行動におけるダイナミズムを分析することである。具体的には、通勤交通手段選択を取り上げ、2時点のパネル調査間隔のうちに人々の交通行動に影響を与えた要因は何で、その程

度はどの位なのかを明かにすることである。

一般に、パネル分析の対象となる数学モデルは動的過程の構造に関する仮定、誤差構造の仮定、動的過程における初期条件の与え方等により、実に多様であるが、その一方でモデル推定技術上の制約も存在している。また、開発途上国を対象とした場合のみならず一般に、調査拒否・転居などパネル調査実施上の問題も多く、調査そのものにも工夫が必要である。この様に、パネル分析の実証研究においては、その本来的な能力が発揮されておらず、推定されているモデルも構造的に簡単なものにとどまっているのが現状である。

本研究は、交通行動の時間的な変化に影響を及ぼす要因を分析することにより、交通計画・政策上の知見を引き出そうというものであり、パネルデータとその分析モデルを基礎にした交通需要予測システムの確立を目指したのではない。特に開発途上国の交通行動の安定性に着目して、個人・世帯属性や交通条件、自動車保有などの属性の変化が、どの様

交通行動分析、パネル分析、開発途上国
学生員 筑波大学大学院博士課程 社会工学研究科
正員 工博 室蘭工大助教授 建設システム工学科
正員 工博 筑波大学助教授 社会工学系
正員 工博 筑波大学 教授 社会工学系
(〒305 つくば市天王台1-1-1)

な交通行動パターンの変化をもたらすかを探ることが目的である。このため、本研究では、パネルデータの分析に対数線形モデルの適用を行なっているが、このモデル自体は、パネル分析の対象となる数学モデルではなく、多次元クロス表をもとに要因間の効果に関する階層的な関係をモデル化しながら要因間の因果構造を把握するものであり、パネルデータの基礎的分析に役立つものと考えられる。

2. パネルデータの特徴と対数線形モデル

交通行動パネルデータは、複数の個人の交通行動を複数時点において観測したものであり、複数の個人の行動の一時点での観測結果であるクロスセクションデータや1人の行動の多時点での観測結果である時系列データと区別される。

このパネルデータの特徴から、いくつかの新たな分析が可能となる。1つは、例えば2時点のクロスセクションデータによりバスの分担率がいずれの時点においても10%であると報告されても、これが固定客なのか浮動客なのか判断できず、従って正しい政策の導出も難しいが、パネルデータを用いるとこの判断は容易である。2つめは、交通行動の動的分析が可能になることである。動的の意味は多様であって、例えば、居住地選択《長期の選択》、自動車保有《中期の選択》、通勤交通手段選択《短期の選択》といった期間別意思決定の階層構造の把握などがよく挙げられる。

また、データの特徴による分析モデルの長所として次の3点のことがよく言われている。1つはモデル推定時の自由度の増加であり、パネルデータではN人の行動をT期にわたって観測することによりN×T個のデータがえられ、クロスセクションのN個、時系列のT個のデータに比べて、著しく大きいことによる。もっともこれは理論的に導かれる利点であり、現実には推定技術の制約等によりこの利点を活用できるとは限らない。2つめは、より複雑な交通行動仮説の表現が可能となることである。これは、一般にデータ制約上モデルに導入できない変数が存在して、それが説明変数と相関する場合には推定値は不偏ではなくなるが、パネル分析によりこのような変数が存在するかどうかの確認が可能となる。3つめは、予測の信頼性が理論的にみて高い点にある。

クロスセクション分析では、データが観測された時点での構造が予測時点でも保持されているという定常性の仮定、つまり行動の変化は対称的であり瞬間的であるという仮定が暗黙のうちに前提とされているが、多くの調査結果はこれが必ずしも完全には満たされていないことを明らかにしている。パネル分析ではこれらの動的関係を明示的に把握する目的もあり、技術的制約もあるが、原理的には予測力においてクロスセクション分析をしのぐと考えられる。

パネル分析の対象となる数学モデルはHeckman(1981)⁹⁾が分類整理したように実に多様である。まず、過去の選択が現在の選択への影響に関する仮定によって、影響がないとする最も簡単なものから、同じ選択が継続することの効果まで捉えようとするモデルまで多種多様である。個人差も個人に属する定数のみで説明しようとするもの(fixed effect model)、個人差は確率的なものであるとするもの(random effect model)、社会経済属性と確率的変動の組合せで個人差を表現するものまで多様である。さらに、これらのモデルは誤差構造の仮定によってさらに分化していく。

本研究で扱う対数線形モデルは、多次元クロス表をもとに要因間の主効果ならびに交互作用効果に関する階層的な関係をモデル化しながら要因間の因果構造を記述して、かつその統計的有意性を評価するものであり、前記のパネル分析の対象となる数学モデルではない。モデルの詳細な説明は、柳川(1985)²⁾などのテキストに譲るが、分析手順は、要因の主効果と交互作用効果からなるいくつかの不飽和モデルをデータにあてはめることにより、交互作用効果の大きさを尤度比カイ二乗統計量で検定し、主効果効果どおしの独立性の検定をしていく。

本研究で、対数線形モデルを用いた理由は3つある。1つは、後述するが本分析で用いるパネルデータのサンプル数が約200サンプルと少なくパネル分析の対象となる数学モデルの適用が難しいと判断したためである。2つめは、パネルデータの基礎的分析を考えたとき、要因のデータ構造が離散データ(2時点の期間中に変化があったか否かの[0, 1]データ)であり多次元クロス表による分析が容易と考えられたためである。3つめは、対数線形モデルの解析手法が簡単かつ明瞭なためである。³⁾

3. ケーススタディ (メトロマニラ パネル) の概要

3-1. 調査の実施と調査サンプルの減少

パネルデータを収集した地域はフィリピン共和国メトロマニラ市におけるLRT沿線地域である。調査は、第1回目を1987年1月、892世帯を対象に実施し、その後、約3年を経た1990年3月に同一世帯の同一個人を対象に第2回目を実施した。

調査の結果、有効サンプルは世帯ベースで、第1調査の892世帯が第2調査で447世帯となり約50%のサンプルの減少であった。個人ベースでは、第1調査の1437票が第2調査で僅か204票と減少(約14%の捕捉)した。

世帯ベースでの調査票回収率の減少の理由は、3年間の間に転居した世帯が154世帯、調査拒否世帯124世帯、調査場所に世帯が見つからなかった世帯116世帯、さらに住所そのものが変更され世帯を見つけられなかった世帯が51世帯である。また、転居と拒否について分析した結果、低所得者層に転居・拒否が多く、高所得者の中国系住民に拒否が多いことが分かった。

個人ベースで、1437の個人票が204票へと激減した理由は、ライフサイクルの変化や職業の変更に伴う転居が788票で最も多く、拒否と回答はしたものの不完全票が310票、3回の訪問でも不在が135票であった。

これらの調査サンプルの減少について、単純に、先進国の事例と比較すると、6カ月の調査間隔を置いたDUTCHパネルでは世帯ベースで58%のサンプルの回収、1年の間隔を置いたPUGETパネルでは56%の回収であり、本調査の3年の間隔における回収率50%は開発途上国調査と言う点からも高い値といえる。

3-2. パネルデータのカロス分析

分析は2時点の通勤目的交通を対象とし、目的地の変化等と個人世帯属性の変化とのクロス分析であり、個人ベースの204サンプルのパネルデータを用いた。

分析の主な結果は次のとおりである。①3年間に職業を変更した者は57% (図1)、通勤の目的地を変更した者は45% (図2) であった。②職業の変更は商業からサービス業への変更が最も多く、そのほ

か女性のホームベースト(内職)への変更も多いことが分かった。③目的地を変更した者は、転職のためとする者が多く64%を占め、次いで女性が職を失ったためが19%であった。④勤務地の変化としては商業・業務地区であるマカティ地区へ勤務していた者が新興の業務地区であるリクレイムド地区に職場を移している等実態が分かった。

		W A V E 2						
		A	B	C	D	E	F	TOTAL
W	A	14	9	2	1	1	2	29
A	B	2	13	3	9	3	6	36
V	C	1	6	23	0	1	2	33
E	D	5	15	3	15	5	3	46
1	F	1	7	3	6	2	9	28
TOTAL		23	50	34	31	12	22	172

LEGEND

A Manufacturing
B Service Ind.
C Gov't. Sector
D Comm'l. Sector
E Home-Based Ind.
F Others

$74/172 = 43.02\%$
(No Change in Employment)

$98/172 = 56.98\%$
(Change in Employment)

図-1 職業の変化

		W A V E 2						TOTAL
		A	B	C	D	E	F	
W A V E 1	A	43	1	1	6	12	3	66
	B	3	6	1	0	0	1	11
	C	9	1	19	1	12	4	55
	D	8	0	1	12	3	2	26
	E	0	0	0	0	3	0	3
	F	3	2	4	3	2	11	25
TOTAL		64	10	24	22	31	21	172

LEGEND

A Manila
B Pasay
C Makati
D Quezon City
E Reclaimed Area
F Others

$94/172 = 54.65\%$
(No Change in Work Place)

$78/172 = 45.35\%$
(Change in Work Place)

図-2 通勤の目的地の変化

4. パネルデータの基礎的分析

4-1. 通勤交通機関の変更

個人ベースの 204 サンプルのパネルデータのクロス分析より、3 年間のうちに交通機関を変更した者は 44% (図 3) いることが分かった。注目すべきは L R T 利用者の減少と自家用車利用者の増加である。また、先に示したように当対象地域には職業を変更した人も多いことから、交通機関を変更した者は、自動車保有の増加やジブニー・バス等の公共交通機関のサービス水準の変化に依ることもさることながら、実質的に交通機関を変えざるを得ない状況(目的地的変更による変化)も多く生じていると考えられる。

		W A V E 2				
		JEEPNEY	BUS	LRT	CAR	TOTAL
W A V E 1	JEEPNEY	52	9	6	12	79
	BUS	8	7	1	1	17
	LRT	13	2	11	5	31
	CAR	5	0	0	9	14
	TOTAL	78	18	18	27	141

$79/141 = 56.03\% : \text{No Change in Mode}$

$62/141 = 43.97\% : \text{Change in Mode}$

図-3 交通機関選択の変更

4-2. 交通機関選択の要因分析

分析の目的は、3 年という調査間隔の内に人々の交通行動に影響を与えた要因は何かを明らかにすることである。具体的な分析は交通機関選択モデルのパラメーターの安定性分析であり、分析により、調査を実施する期間が 3 年違っても、2 時点それぞれのモデルパラメーターが一定であることが実証されれば、「交通機関の選択構造自体には差がなく目的地的変化等が結果的に交通機関選択の違いとなって現われている」という仮定が確かめられる。

分析に用いたデータは、2 時点のパネルデータに補助データを加えたものであり、調査地域が同一という点から疑似パネルデータと言えよう。補助データとは、1987 年調査では 1990 年調査の結果から同一個人データとならなかったデータであり、1990 年調査では 1987 年の調査世帯名簿で同一個人を見つけた

れず、やむなく近所の家を訪問し得た新たな調査データである。また、分析は通勤目的交通を対象とし、個人ベースのデータを用いた非集計ロジットモデルによる分析を行なった。

交通機関選択を説明する要因は、アクセス時間(0 VTT)、ラインホール時間(IVTT)、費用(TOC)、世帯収入(INC)、世帯内免許保有者数(LIC)の 5 つとジブニー、バス、L R T の 3 つの定数項を考え、1987 年では 860 サンプル、1990 年で 644 サンプルを用いて分析した。交通機関の選択肢は自家用車、ライトレール、バス、ジブニーの 4 機関であり、マルチノミナルロジットモデルを適用した。

2 時点それぞれの分析の結果は表 1 に示すとおりであり、これより次のことが分かる。①両時点のモデルとも尤度比、的中率が高く再現性の高いモデルである。②モデル 1 と 2 とともにパラメーターの符号条件が適当なものとなっている。③パラメーターの t 値はモデル 1 の T O C、モデル 2 の I N C、J c o n s t を除いて有意水準 5 % で有意となっている。

次に、各モデルパラメーターの値にウェーブ(時点)間で差があるかどうかの t 検定を行なった。その結果は表 2 のとおりであり、費用と世帯収入の 2 要因において、統計的に差があるという結果となった。このことは、2 時点それぞれの交通機関の選択構造には差があることを意味する。

表-1 2 時点それぞれの交通選択モデル

		Wave 1 Model		Wave 2 Model	
		$\bar{\theta}$	t-value	$\bar{\theta}$	t-value
L	OVTT (G)	-0.1863	-3.76	-0.1389	-2.40
O	IVTT (G)	-0.0148	-2.58	-0.0240	-4.03
S	TOC (S)	-0.0066	-0.73*	-0.0489	-2.94
S	INC (S)	0.0089	3.25	0.0014	0.85*
E	LIC (S)	1.1678	3.27	1.7064	4.54
C	J CONST	2.2379	5.52	0.0858	0.23*
O	B CONST	1.1203	2.56	1.3265	3.16
N	L CONST	2.8030	6.00	0.8216	1.85
D.F.		8		8	
χ^2		351		315	
L(θ)		-631.9574		-468.6959	
ρ^2		0.2129		0.2463	
HIT		64.2		68.0	
SAMPLES		860		644	

LEGEND: (G) = Generic
(S) = Specific to Car
* not significant at 5% Significance Level

表-2 2時点モデルパラメータの安定性

Parameter	t-Value
OVTI	0.6239
IVTI	1.0971
TOC	2.3857**
INC	19.3592**
LIC	1.0261
JCONST	3.6702**
BCONST	0.3299
LCONST	2.9878**

**Significant at 5%
Significance Level

5. 対数線形モデルの適用

分析の目的は、3年という調査間隔の内に人々の交通行動に影響を与えた要因は何で、その程度はどの位なのかを明らかにすることである。

前章2節交通機関選択モデルのパラメータの安定性分析により、費用と世帯収入の2要因において、統計的に差があるという結果となったが、このことは、「交通機関の選択構造自体には差がなく目的地の変化等が結果的に交通機関選択の違いとなって現われている」という仮定が棄却されたことである。本分析は交通機関選択構造にのみ限定した分析であるが、3年という調査間隔の内に、交通費用に関する価値観の変化、あるいは世帯収入の変化があり、これが人々の交通選択行動に影響を与えたであろうことが分かる。

ここでは、その影響の程度を把握するため対数線形モデルによる要因分析をおこなう。分析は2時点の通勤目的交通を対象とし、交通機関選択の変化と目的地の変化、職業の変化、個人収入の変化という4つの変化がそれぞれどの様に（交互作用がなく独立といえるか）関連しているかを把握するためのものであり、個人ベースの204サンプルのパネルデータを用いた。

分析はサンプル数の関係で、2つに分けて行なった。1つは、交通機関選択の変化と目的地の変化、職業の変化に関するものであり、他の一つは交通機関選択の変化と目的地の変化、個人収入の変化に関する分析である。表3は要因とカテゴリーをまとめ

たもので、各要因とも2水準（2時点で変化があったか否か）とした。以下、分析の説明には表3の記号を用いる。

表-3 要因と水準

要因	記号	水準 2	水準 1
交通機関選択の変化	MC	なし	あり
目的地の変化	WP	なし	あり
職業の変化	EP	なし	あり
個人収入の変化	MI	なし	あり

分析は、MCとWP、MCとEP、MCとMIとの間に交互作用がなく独立か否かの検定であり、もしこの3つ全てに独立が言えれば、交通機関選択は目的地選択にも、職業選択にも、個人収入の変化にも影響を受けていないと言える。表4と表5に対数線形モデル分析に用いたデータの分割表を示す。

表-4 分割表(1)

	WPなし		WPあり	
	EP ない	EP あり	EP ない	EP あり
MC なし	18	23	13	20
MC あり	4	18	9	25

表-5 分割表(2)

	WPなし		WPあり	
	MI ない	MI あり	MI ない	MI あり
MC なし	16	26	14	19
MC あり	10	12	12	22

なお、構築したモデルはそれぞれ次の4つである。

- ① モデル [MC, WP, EP]
- ② モデル [MC, WP, EP, MC*WP]
- ③ モデル [MC, WP, EP, MC*EP]
- ④ モデル [MC, WP, EP, MC*WP, MC*EP]

- ⑤ モデル [MC, WP, MI]
 ⑥ モデル [MC, WP, MI, MC*WP]
 ⑦ モデル [MC, WP, MI, MC*MI]
 ⑧ モデル [MC, WP, MI, MC*WP,
 MC*MI]

ただし、MC, WP, MI：主効果

〇〇 * XX : 〇〇とXXの交互作用
 効果

表6はそれぞれのモデルの尤度比カイ二乗統計量と自由度を示したものである。これより次のことが分かる。

第1は、唯一、モデル①が有意水準5%で有意でありよくデータに適合している。このモデルは交互作用項を含んでいないことから、このモデルの選択は、帰無仮説（各要因間に独立性がある）が棄却出来ないことを意味する。

第2は、モデル①以外の7つのモデルが有意水準5%で有意でなくデータに適合していないことである。特にあてはまりの悪い④、⑥、⑧のモデルについては仮定したモデル構造と関係ない要因の影響や誤差があるためと考えられる。

第3は、比較的あてはまりのよいモデル②と先のモデル①より、MCとWPの交互作用効果の検定ができ、交互作用のカイ二乗値が3.969（自由度1）あることから、MCとWPは有意水準5%で棄却できないが、MCとWPの間にはかなり強い関係があることが示唆される。

表-6 対数線形モデルの推定結果

モデル	カイ二乗値	自由度
①	9.305	3
②	5.336	2
③	3.952	2
④	0.668	1
⑤	4.287	3
⑥	0.675	2
⑦	4.280	2
⑧	0.679	1

以上の対数線形モデルの分析をまとめると交通機関選択変化と目的地変化との相関関係は統計的にかなり強いものの、交通機関選択変化と職業変化、個人収入変化の間には相関関係は統計的には見られない。特に交通機関選択変化と個人収入変化の間には殆ど相関関係がないと言える。

6. おわりに

本研究は、フィリピン・メトロマニラ市を対象として、開発途上国の交通行動におけるダイナミズムを対数線形モデル等により分析することである。本分析により次のことが明かとなった。

- ① 3年間に職業を変更した者は57%、通勤の目的地を変更した者は45%、3年間のうちに交通機関を変更した者は44%もいることが分かった。
- ② 「目的地の変化等が結果的に交通機関選択の違いとなって現われている」ばかりでなく、3年という調査間隔のうちに、交通機関の選択構造自体にも変化があったことが分かった。
- ③ 交通機関選択変化と目的地変化との相関関係は統計的にかなり強いものの、交通機関選択変化と職業変化、個人収入変化の間には相関関係は統計的には見られないことが分かった。
- ④ 2時点それぞれの交通機関の選択構造を比較することにより、費用と世帯収入の2要因において、統計的に差がある（選択構造には差がある）ことが分かった。

今後の課題は、調査サンプル数を多くした分析を行なうとともに、調査のインターバルをどの様に設定すべきかを検討することである。

参考文献

- 1) Heckman, J.J. (1981) "Statistical Models for Discrete Panel Data", edited by C.F. Manski and D. McFadden, MIT Press
- 2) 柳川：(1986) 離散多変量データの解析、共立出版
- 3) 藤原・杉恵：(1990) 選好意識データの安定性と信頼性、都市計画論文集25, pp103-108.
- 4) 西井・近藤：(1989) 鉄道利用通勤者の時空間ブリズムに着目した交通パターン分析、土木計画学論文集7, pp139-146.