

地理的・自然的条件からみた有効な自動車保有・利用抑制策に関する研究*

A Study on the effective urban and traffic policies for reduce of car-ownership and car-use
by the geographical and natural conditions*

和田真理子**・青山吉隆***・中川大****・守谷嘉洋*****

By Mariko WADA**・Yoshitaka AOYAMA***・Dai NAKAGAWA****・Yoshihiro MORITANI*****

1. はじめに

近年、経済発展や技術革新に伴い、世界では様々な環境問題が生じており、中でも地球温暖化問題は地球全体に関わる深刻な問題である。

この地球温暖化への直接寄与度が最も高いのは、二酸化炭素であり、その排出の原因は、産業、工業プロセス、廃棄物など様々なものがあるが、なかでも自動車の利用によるものの増加が著しく、大きな課題となっている。世界各国の自動車保有の状況を比較した研究としては、Newman & Kenworthy¹⁾らが国レベル、都市レベルあるいは世界全体で一つの自動車保有モデルの構築を行っているが、モデルの変数には主に所得水準や人口密度が用いられている。また、古谷ら²⁾をはじめ、市町村レベルでの重回帰分析を用いているが、変数間に相関がある場合、変数間に多重共線性の問題が生じやすい。そこで、同時方程式が有効と思われる。

また、著者ら³⁾は、人口密度などの変数を用いて世界各国を対象としたクラスター分析を行い、クラスター毎に、変数間の相互関係を明示的に考慮した同時方程式型モデルを構築している。しかし、t 値に小さいものがあることが課題となっている。

そこで本研究では、まず、自動車交通の制約条件と考えられる地理的条件および気象条件も考慮し、世界各国を対象とし、クラスター分析を用いて、地理的条件および自然的条件からみた分類を行い、クラスター毎の特性を明らかにする。

*キーワード：地理的条件、自然的条件、自動車保有、自動車利用
**学生員、博士後期過程、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻（京都市左京区吉田本町、TEL075-753-5139、FAX075-753-5759）
***フェロー、工博、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
****正員、工博、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
***** 株式会社 中国銀行 玉島支店
（倉敷市玉島中央町 1-19-10、TEL086-522-2101）

またクラスター毎に自動車保有・利用とその影響要因の関連を表す同時方程式型モデルを構築し、クラスター毎の自動車保有・利用に影響する要因の差異を明らかにする。

さらに、クラスター毎に有効と思われる自動車保有・利用抑制策の提言を行う。

2. 既存研究と本研究の位置づけ

自動車保有や自動車利用に関する研究では、古谷ら²⁾をはじめ、特定の市町村を対象にミクロレベルのモデル構築を試みた研究が数多く存在する。

一方、マクロレベルでは、特に先進国各国で、国毎に自動車需要予測がなされ、日本においては、国土交通省⁴⁾が一人当たりの免許保有率を説明要因として、乗用車保有台数の推計を行っている。また、Newman & Kenworthy¹⁾が自動車保有・利用と経済水準、人口密度等各要因について世界の都市を対象に分析を行い、Lyons T.J.ら⁵⁾が、人口密度と総自動車走行距離との関係の分析を行っている。また、青山⁶⁾が世界の都市や日本の都市を対象に、GDP とCO₂排出量や人口密度とガソリン消費量の関係について分析を行っている。

そして、近年ではDargay & Gately⁷⁾がゴンペルツ関数を用いて、26 カ国のデータにより飽和水準値を算出し、さらに財団法人運輸政策研究機構による国際共同研究プロジェクト⁸⁾において、Dargay-Gately モデルにより短期的な保有率水準調整の過程を組み込みんだ定式化が行われている。

このように、自動車保有・利用に関しては、世界全体で一つの時系列分析を行った研究や、各国の保有・利用に関するクロスセクション分析が行われているが、時系列データが一般的に上方トレンドを

もっていることや、変数間に多重共線性の問題が生じやすいことなどの問題がある。

そこで、著者ら³⁾は、多くの既存研究で用いられている、人口密度や所得水準などの変数を用いてクラスター分析を行い、クラスター毎に同時方程式型モデルの構築を行っている。

ここで、小川ら⁹⁾の研究によると、大都市、港湾都市といった都市形態が自動車の保有と利用に影響を与えていることが示されている。同様に、国レベルでの自動車交通は、GDP や道路供給量といった要因よりも前の段階で地理的条件により何らかの制約を受けており、この制約条件により、自動車交通形態が決定されていると考え、本研究では地理的条件によって世界各国の分類を行う。

従来の研究では、このような自動車交通の制約条件と考えられる地理的条件および自然的条件を変数とする、自動車保有モデルや自動車利用モデルは構築されていない。

また、世界全体を一つとしたモデル、主に先進国を対象とした国別モデルや都市別モデルは存在するが、著者らの行った研究³⁾以外に、多くの発展途上国を含めた自動車保有モデルや自動車利用モデルは存在しない。

そこで、本研究では、地理的条件および自然的条件をもとに、世界各国をグループ化した上で、グループ毎の自動車保有と自動車利用に関する同時方程式型モデルを提案する。

3. 世界各国の分類

本研究では、世界各国の特性が自動車保有水準・自動車利用水準とどのように関係しているのかを明らかにするため、世界各国を地理的・自然的条件によって分類する。

(1) クラスター分析の概要

世界各国の分類には、類似性関係に基づいて個体を分類する手法である、クラスター分析を用いる。

ここでは、国レベルでの自動車交通の地理的条件として、1)陸地面積、2)農用地占有率、3)森林占有率、を対象とし、自然的条件として、4)年平均気温、5)年平均降水量、を対象とした。

これらの地理的条件および自然的条件を変数として、クラスター分析を行い分類する。

表1 クラスター分析に用いる変数および出典

変数	単位	出典
陸地面積	1000ha	統計局ホームページ
農用地占有率	%	世界の統計データベース
森林占有率	%	The State of the World's Forests 2003
年平均気温	°C	文部科学省国立天文台編、理科年表
年平均降水量	mm/年	CD-ROM2004、丸善

なお、分析に用いる変数およびその出典を表1に示す変数を用いて、2000年における56カ国の統計データを用いる。また、クラスター間の距離の定義には、ウォード法を用いる。

(2) クラスター分析の結果と考察

前項で説明したクラスター分析を行った結果、表2が示すように、6つのクラスターに分類でき、地理的・自然的条件を考慮して、平坦型、低温小国型、乾燥型、起伏型、高温多雨型、大国型と名づけた。

表2 クラスター分析結果と特徴の概要

	クラスター1 平坦型	クラスター2 低温小国型	クラスター3 乾燥型
含まれる国	India, Pakistan, Spain, Italy, Greece, Portugal, France, Germany, Romania, Poland, Czech, Bulgaria, Turkey, Hungary, Denmark	Iceland, Norway, Ireland, Belgium, Netherlands, UK, Ecuador, Mexico, New Zealand, Switzerland, Argentina, Ethiopia	Algeria, South Africa, Iran, Chile, Kenya, Libya, Egypt, UAE, Kuwait, Saudi Arabia
特徴	農用地占有率最大	森林占有率小 低温 陸地面積小	降水量最小 農用地占有率最小 森林占有率最小
自動車保有水準 ⁽¹⁾	大	大	中
自動車利用水準 ⁽²⁾	小	中	中
	クラスター4 起伏型	クラスター5 高温多雨型	クラスター6 大国型
含まれる国	Brazil, Peru, Finland, Sweden, Slovakia, Austria, Korea, Japan	Singapore, Myanmar, Malaysia, Nigeria, Sri Lanka, Thailand	Russia, Canada, Australia, United States, China
特徴	森林占有率最大 低温	気温最高 降水量最大	農用地小 陸地面積最大
自動車保有水準 ⁽¹⁾	大	小	大
自動車利用水準 ⁽²⁾	小	小	大

自動車保有水準⁽¹⁾: 一人当たり自動車保有台数(台/人)
自動車利用水準⁽²⁾: 道路部門における一人当たりガソリン消費量(t/人・年)

なお、表2の特徴を記す際に、各クラスター毎の平均値の大小を比較して記載した。

表3 各クラスターの特徴比較

	自動車保有水準	自動車利用水準	年平均気温	年平均降水量	陸地面積	農用地占有率	森林占有率
平坦型	2.5	0.7	0.9	0.7	0.3	2.0	1.0
低温小国型	3.0	1.2	0.7	1.2	0.4	0.7	0.7
乾燥型	1.0	1.1	1.3	0.5	0.8	0.3	0.3
起伏型	2.6	0.9	0.8	1.0	0.8	0.7	2.3
高温多雨型	0.6	0.4	1.8	2.5	0.3	1.1	1.2
大国型	3.0	2.4	0.7	1.1	6.4	0.5	1.1

ここで、クラスターの特徴を明確にするため、変数ごとに全サンプルの平均値を1としたときの、全サンプル平均に対する各クラスターの平均値の比を用いて表3に特徴を示す。

また、自動車保有水準は、日本自動車工業会¹⁰⁾によると、2000 年の世界平均が 0.11(台/人)であるため、これを基準とした。さらに、自動車利用水準については、全サンプル平均の 0.3(t/人・年)を基準とし、これらを 1 としたときの、全サンプル平均に対する各クラスターの平均値の比を併せて表 3 に記載している。

4. クラスター別の自動車保有・利用モデルを用いた自動車保有・利用抑制策

3. において、世界各国の分類を行い、6 つの特徴のあるグループに分類した。これらのクラスターを対象として、1975～2000 年の 5 年毎の世界 56 カ国データを用いて、モデルの構築を行う。

(1) モデル構築の手法

自動車保有・利用に影響する要因は、相互に相関関係を有している。このような変数同士の関係を表すモデルとして、同時方程式が適している。同時方程式では、一般的に内生変数と誤差項は相関をもつ。よって、構造パラメータの推定に、一般的な最小二乗法を用いることは不適切である。そこで推定バイアスを避けるために、二段階最小二乗法を用いる。

(2) モデルに用いる変数

Newman & Kenworthy¹⁾などの従来の研究を参考にし、表 4 に示す、7 つの変数を用いる。

表 4 同時方程式モデルに用いる変数

項目	変数名	単位	記号
(1)自動車保有水準	① 人口千人あたりの乗用車保有台数	[台/千人]	Y
(2)国土構造	② 人口密度	[人/km ²]	D
	③ 都市人口割合	[%]	RU
(3)公共交通サービス水準	④ 一人当たりの年間鉄道利用距離	[km/人]	R
(4)経済水準	⑤ 一人当たりGDP	[米ドル/人]	I
(5)道路整備水準	⑥ 一人当たり道路延長	[km/人]	RN
(6)自動車利用水準	⑦ 一人あたりの道路における年間ガソリン消費量	[t/人]	G

出典は以下のとおりである。

- ①：社団法人日本自動車工業会、主要国自動車統計年報および世界自動車統計年報
- ②，③：United Nations Population Division, World Population Prospects 2000
- ④：United Nations, Statistical Yearbook 46th issue
- ⑤：World Bank, World Development Indicators 2001
- ⑥：International Road Federation, World Road Statistics
- ⑦：International Energy Agency, Energy Statistics of OECD Countries
International Energy Agency, Energy Statistics of Non-OECD Countries

(3) 同時方程式モデル

自動車保有水準 Y・自動車利用水準 G について、t 値が約 2.0 以上の大きい変数のみを選択し、モデ

ルを作成した。なお、モデル構築に際しては、各変数には標準化した値を用いた。

(1)式～(12)式にクラスター毎のモデル式を示し、表 5 にパラメータ推定結果を示す。

クラスター1 (平坦型)

$$\ln Y = \alpha_{10} + \alpha_{11} \ln G \quad (1)$$

$$\ln G = \beta_{10} + \beta_{11} \ln I + \beta_{12} \ln RU \quad (2)$$

クラスター2 (低温小国型)

$$\ln Y = \alpha_{20} + \alpha_{21} \ln I \quad (3)$$

$$\ln G = \beta_{20} + \beta_{21} \ln Y + \beta_{22} \ln R \quad (4)$$

クラスター3 (乾燥型)

$$\ln Y = \alpha_{30} + \alpha_{31} \ln I + \alpha_{32} \ln R \quad (5)$$

$$\ln G = \beta_{30} + \beta_{31} \ln Y + \beta_{32} \ln RU + \beta_{33} \ln R \quad (6)$$

クラスター4 (起伏型)

$$\ln Y = \alpha_{40} + \alpha_{41} \ln RN + \alpha_{42} \ln G \quad (7)$$

$$\ln G = \beta_{40} + \beta_{41} \ln I + \beta_{42} \ln D \quad (8)$$

クラスター5 (高温多雨型)

$$\ln Y = \alpha_{50} + \alpha_{51} \ln G \quad (9)$$

$$\ln G = \beta_{50} + \beta_{51} \ln I + \beta_{52} \ln RU \quad (10)$$

クラスター6 (大国型)

$$\ln Y = \alpha_{60} + \alpha_{61} \ln RU + \alpha_{62} \ln G \quad (11)$$

$$\ln G = \beta_{60} + \beta_{61} \ln Y + \beta_{62} \ln R \quad (12)$$

ただし、 α 、 β ：パラメータとする。

(4) 有効な自動車保有・利用抑制策の考察

(1)式、(2)式より、クラスター 1 (平坦型) では、自動車保有水準 Y に対して自動車利用水準 G が正の影響を与え、自動車利用水準 G に対して、所得 I や都市人口割合 RU が正の影響を与えている。これは、都市の郊外化が進み、都市部周辺での公共交通サービス水準が低く、自動車保有や利用が大きいからと思われる。このため、都市の分散化による自動車保有・利用抑制策が有効と思われる。

(3)式、(4)式より、クラスター 2 (低温小国型) では、自動車保有水準 Y に対して所得 I が正の影響を与える他、自動車利用水準に対して、所得 I が正の影響を、鉄道利用距離 R が負の影響を与えている。クラスター 2 は陸地面積が小さいことから、鉄道などの公共交通がある程度整備されると、全土で効率的に利用されると想定される。よって、鉄道整備が自動車保有・利用の抑制に有効である。

(5)式、(6)式より、クラスター3（乾燥型）では、自動車保有水準Yは所得I、都市人口割合RU、自動車利用水準Gが正の影響を与えている。また、自動車利用水準Gに対して、自動車保有水準Y、都市人口割合RUが正の影響を与え、鉄道利用距離Rが負の影響を与えている。クラスター3は乾燥型であり、油田がある国が多く含まれることから、所得が大きいと自動車を保有して安価なガソリンを消費する傾向にある。また、都市人口割合が大きく、都市化が進んだ状態で、鉄道整備が不十分ならば、郊外からの自動車通勤が多くなり、自動車交通への依存が高まりやすい。このため、所得増加に対する環境税施策、都市の分散化等の国土政策や、鉄道整備が有効な自動車保有・利用の抑制策である。

表5 パラメータの推定結果

内生変数lnY				内生変数lnG			
クラスター1 (平坦型)				クラスター1 (平坦型)			
説明変数名	偏回帰係数	T値		説明変数名	偏回帰係数	T値	
理論値lnG	0.985	23.912		lnI	0.670	10.311	
定数項	-5.838E-07	-1.485E-05		lnRU	0.324	4.984	
決定係数	R ² =	0.897		定数項	6.375E-07	1.884E-05	
重相関係数	R =	0.947		決定係数	R ² =	0.924	
				重相関係数	R =	0.961	
クラスター2 (低湿小国型)				クラスター2 (低湿小国型)			
説明変数名	偏回帰係数	T値		説明変数名	偏回帰係数	T値	
lnI	0.920	18.067		理論値lnY	0.990	10.488	
定数項	3.148E-07	6.231E-06		lnR	-0.314	-3.613	
決定係数	R ² =	0.847		定数項	4.838E-07	6.365E-06	
重相関係数	R =	0.920		決定係数	R ² =	0.659	
				重相関係数	R =	0.812	
クラスター3 (乾燥型)				クラスター3 (乾燥型)			
説明変数名	偏回帰係数	T値		説明変数名	偏回帰係数	T値	
lnI	1.120	13.320		lnRU	-0.640	-6.878	
lnR	-0.224	-2.661		lnR	-0.365	-3.150	
定数項	1.189E-06	2.249E-05		理論値lnY	0.655	5.262	
決定係数	R ² =	0.919		定数項	-5.054E-07	-5.950E-06	
重相関係数	R =	0.959		決定係数	R ² =	0.799	
				重相関係数	R =	0.894	
クラスター4 (起伏型)				クラスター4 (起伏型)			
説明変数名	偏回帰係数	T値		説明変数名	偏回帰係数	T値	
lnRN	0.209	1.704		lnI	0.946	14.595	
理論値lnG	0.776	5.813		lnD	-0.332	-5.115	
定数項	-5.344E-08	-7.429E-07		定数項	1.566E-07	2.527E-06	
決定係数	R ² =	0.793		決定係数	R ² =	0.847	
重相関係数	R =	0.891		重相関係数	R =	0.920	
クラスター5 (高温多雨型)				クラスター5 (高温多雨型)			
説明変数名	偏回帰係数	T値		説明変数名	偏回帰係数	T値	
理論値lnG	0.995	14.727		lnI	0.900	9.220	
定数項	4.462E-09	7.037E-08		lnD	-0.646	-6.098	
決定係数	R ² =	0.912		lnRU	0.611	6.190	
重相関係数	R =	0.955		定数項	7.592E-07	1.205E-05	
				決定係数	R ² =	0.921	
				重相関係数	R =	0.960	
クラスター6 (大国型)				クラスター6 (大国型)			
説明変数名	偏回帰係数	T値		説明変数名	偏回帰係数	T値	
lnRU	0.348	4.066		理論値Y	0.841	10.281	
理論値lnG	0.711	7.913		lnR	-0.243	-3.059	
定数項	6.488E-07	1.2227E-05		定数項	-8.7654E-07	-1.268E-05	
決定係数	R ² =	0.947		決定係数	R ² =	0.910	
重相関係数	R =	0.973		重相関係数	R =	0.954	

(7)式、(8)式より、クラスター4（起伏型）では、人口密度D、一人当たり道路延長RN、自動車利用水準Gが正の影響を与えている。また、自動車利用水準Gに対して、所得Iや人口密度Dが正の影響を与えている。クラスター4では、人口密度が小さければ、山間部の交通利便性が悪く、さらに道路整備水

準が高ければ、自動車利用が大きくなると思われる。このため、過剰な道路整備に留意する必要がある。

(9)式、(10)式より、クラスター5（高温多雨型）では、自動車保有水準Yに対して自動車利用水準Gが正の影響を与え、自動車利用水準Gに対して所得Iや都市人口割合RUが影響している。このクラスターでは高温のために歩く距離の抵抗度合いが他の地域に比べて大きい。そのため、所得水準が大きく、都市化が進み、郊外に居住した人の通勤が増えると、自動車交通に依存する傾向がある。そこで、低公害車の減税策や環境税の導入、都市の分散化などの国土政策が有効と思われる。

(11)式、(12)式より、クラスター6では、自動車保有水準Yに対して都市人口割合RUや自動車利用水準が正の影響を与えている。また、自動車利用水準に対して、自動車保有水準Yが正の影響を与え、鉄道利用距離Rが負の影響を与えている。このため、都市の分散化等の国土政策や鉄道整備が有効である。

5. おわりに

本研究の結果、地理的・自然的条件によりクラスター分析により、特徴のあるクラスターに分類できた。また、クラスター毎の同時方程式型モデルを構築した結果、クラスターによって用いる変数やそのパラメータの大きさが違うことから、有効となる都市・交通施策が異なることが明らかとなった。

今後、さらに国別や都市別の研究を進める。

(参考文献)

- 1) Newman Peter, Kenworthy Jeffrey : Sustainability and Cities, pp.101, Island Press, 1999
- 2) 古谷知之・原田昇・太田勝敏：バンコク首都圏における世帯所得階層に着目したモビリティ分析,都市計画学会学術研究論文, No.37, pp.187-193, 2002
- 3) 和田真理子・青山吉隆・中川大：自動車保有からみた世界各国の分類と構造モデルの構築に関する研究, 日本地域学会年次大会学術発表論文集, pp. 565-572, 2003
- 4) 国土交通省ホームページ, <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data.html>, 2004
- 5) Lyons T. J., Kenworthy, J. K., Moy C., dos Santos F. : An international urban air pollution model for the transportation sector, Transportation Research Part D, Vol.8, pp.159-167,2003
- 6) Aoyama Yoshitaka : Key Note Address, proceedings; Joint Seminar sixth Asean-Japan workshop-cum-seminar on urban transport and eleventh international seminar on land readjustment and urban development, pp.12-30, 2002
- 7) Dargay, J. & Gately, D. : Income's effect on car and vehicle ownership, worldwide:1960-2015,Transportation Research Part A, Vol.33, Issue 2, pp.101-138, 1999
- 8) 「都市交通と環境」国際共同研究プロジェクト委員会(国内委員会):平成14年度「都市交通と環境」国際共同研究プロジェクト報告書,pp.58-66,財団法人運輸政策研究機構,2003
- 9) 小川雅司・山田浩之:都市構造と自動車交通・ガソリン消費に関する研究,高速道路と自動車,Vol.45 No.10, pp.27-36, 2002
- 10) 社団法人日本自動車工業会:世界自動車統計年報'03第2集, pp.88-97,社団法人日本自動車工業会,2003