

世帯の自動車走行量の人口密度弾力性*

Population Density Elasticity of Households' Vehicle Miles Traveled*

谷下雅義**・坂本将吾***・川野正史***

By Masayoshi TANISHITA**, Shogo SAKAMOTO*** and Masashi KAWANO***

1. はじめに

人口密度が高いほど一人あるいは世帯あたりの自動車走行量が少ないことは、Newman and Kenworthy (1989)¹⁾以降盛んに研究されてきた。筆者も単に人口密度との回帰を行うのではなく、所得や燃料価格など関連する変数も取り入れて自動車走行量やガソリン消費量に関する人口密度の弾力性を推計してきた(Tanishita (2006)²⁾)。その結果として、人口密度を1%高めれば走行量やガソリン消費量がX%減るといった知見が得られるが、その一方で人口密度の高いところに住む人はそもそも運転が好きでないという選好を持っているだけであり、人口密度は主要な変数ではない、いわゆるSelf selection biasの問題が指摘されてきた(たとえば、Golob and Brownstone (2005)³⁾やMokhtarian and Cao (2008)⁴⁾)。この場合、人口密度の影響を過大に推計してしまう可能性がある(Kitamura et. al. (1997)⁵⁾)。

実際、世帯の選好・態度は多様であり、個票データを用いた回帰分析では、人口密度は統計的に有意なパラメータ値が得られるものの、決定係数は0.1を下回るという結果がしばしばである。一般には各世帯の選好に関するデータは別途慎重に設計されたアンケートをとるなどしない限り入手困難である。こうした主要な変数を除いて統計分析を行うといわゆる過小定式化バイアス(omitted variables bias)が生じる。

本研究は、世帯の選好の多様性を表現する手法として潜在クラスモデルを用いることにより、観測された結果から、複数のクラスに世帯を分類し、かつそれらのクラスの選好が表現されたパラメータの検討を通じて人口密度が自動車走行量に及ぼす影響の程度について分析する。もし一部のクラスターにおいて人口密度が統計的に有意でないと

ということが示されれば、そうしたクラスに属する世帯の人口密度を高めても自動車走行量は削減しない。またそうした世帯の特徴がわかれば、立地を誘導し、コンパクトシティの形成を目指す施策の検討にも有用な知見を提供できる。

2. Self Selectionに関する先行研究

Mokhtarian と Cao は環境(built environment)、態度(attitude)と交通行動にかかわるself selectionを扱った28の先行研究のレビューを行っている。そしてこの問題への対処法として、表1に示す方法があることを明らかにしている。

自動車の走行量を扱った研究として、まずBagley and Mokhtarian (B&M) (2002)⁶⁾は統計的制御により、態度やライフスタイル変数が交通行動を規定する主たる要因であり、居住地(環境)の影響はあるが小さいことを示した。Handy et. al. (2005)⁷⁾はクロスセクションデータではB&Mと同じであるが、時系列データを用いた場合は逆に環境の影響の方が大きいことを示した。Golob and Brownstone (2005)³⁾は構造方程式モデリングにより、平方mile当り1,000住宅数が減少すると、年間自動車走行量が1,200mile増加することを明らかにしている。Schwanen and Mokhtarian (2005)⁸⁾は、環境・態度と交通行動のミスマッチに着目した研究であるが、self

表1 Self selection 問題への対処法

方法	備考
直接質問	質問に伴うさまざまなバイアスの発生
統計的制御	態度に関する変数を加えて環境(人口密度)の影響を推定
操作変数法	操作変数を用いて環境を表し、態度に関する変数は誤差項として扱い、操作変数と相関がないものとして影響を推定
サンプル選択モデル	環境の選択を説明する式を構築し、残差相関を考慮して環境のグループごとに影響を推定
ジョイントモデル	・非集計モデル ・構造方程式モデリング
時系列分析	態度に関する変数を制御可能

Mokhtarian and Cao(2008)⁴⁾をもとに作成

*キーワード:自動車保有・利用,人口密度,潜在クラス

**正員,博(工),中央大学理工学部土木工学科

(東京都文京区春日一丁目13番地27号,

TEL03-3817-1810, FAX03-3817-1803)

***学生員,中央大学大学院理工学研究科

(東京都文京区春日一丁目13番地27号,

TEL03-3817-1817, FAX03-3817-1803)

selection の影響を除去した上で環境は自動車走行量に影響を及ぼすことを明らかにしている。

いずれも self selection の影響があるという結果であり、環境のみならず選好・態度も自動車走行量に影響を及ぼしている。すなわち、選好の違いを考慮しないモデリングは環境の影響を過大に推定してしまう可能性がある。

3. 方法

本研究は、潜在クラスモデルを用いて世帯の選好の多様性を表現し、その結果を用いて人口密度が自動車走行量に及ぼす影響について考察する。

潜在クラスモデルは、マーケティングの分野を中心に研究がすすめられているが、交通や立地行動の分野でも多くの研究が行われている⁹⁻¹²⁾。具体的には、クラス数を K とするとき

$$h(y|x, \varphi) = \sum_{k=1}^K \pi_k f(y|x, \theta_k) \quad (1)$$

$$\pi_k \geq 0, \quad \sum_{k=1}^K \pi_k = 1$$

ここで y は x を説明変数とする被説明変数であり、 $f(y|x, \theta_k)$ はその確率密度関数（パラメータ θ_k ）を表す。 π_k はクラス k に属する（事前）確率であり、 $h(y|x, \varphi)$ は $x, \varphi = (\pi_1, \dots, \pi_k, \theta_1, \dots, \theta_k)$ を所与としたときの y の条件付き確率密度関数を表す。

(x, y) が観測されたとき、クラス j に属する事後確率は

$$P(j|x, y, \varphi) = \frac{\pi_j f(y|x, \theta_j)}{\sum_{k=1}^K \pi_k f(y|x, \theta_k)} \quad (2)$$

となる。パラメータは対数尤度

$$\log L = \sum_{n=1}^N \log \left(\sum_{k=1}^K \pi_k f(y_n | x_n, \theta_k) \right) \quad (3)$$

を最大とするよう、EMアルゴリズム(Dempster et. al. 1977¹³⁾)を用いて推定される。モデルの適合度はベイズアン情報量規準(BIC)あるいは赤池情報量規準(AIC)により評価される。なおBICは過小に、AICは過大にクラス数を分割する傾向にあることが指摘されている¹⁴⁾。

本研究は世帯別の自動車走行量を被説明変数、世帯属性と人口密度を説明変数とする回帰モデルを用いて、そのパラメータに選好が反映されると仮定して、①クラスをわける意味はあるか？また②複数のクラスにおいて人口密度はどの程度有意な変数か？を検討する。

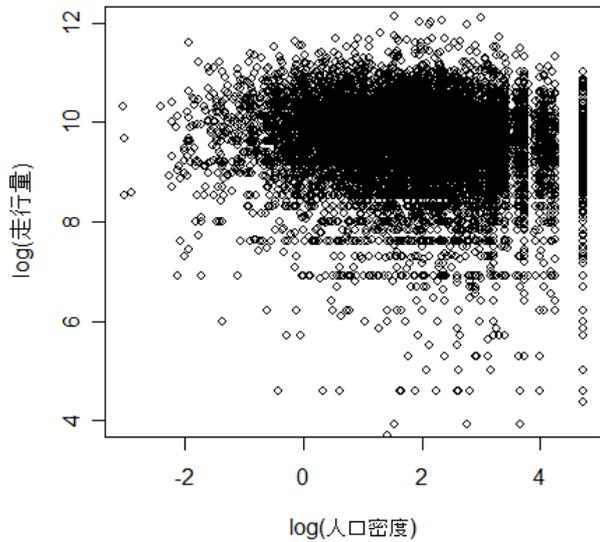


図1 人口密度（対数：横軸）と自動車走行量（対数：縦軸）の関係（サンプル数：12855）

4. データ

スイスの個票データ(Mikrozensus2000)を用いる。世帯の所得(8階級)、住所(コミューン)、世帯人員数、言語(ドイツ語/その他)、住宅タイプ(戸建/その他)、所有する別荘の数、自動車保有台数、保有する自動車のエンジンサイズ、年間自動車走行量(km)などが記載されている。ここに居住地の環境を表す変数として、最小の行政単位であるコミューンの人口密度(人/ha)をスイス統計局から入手し、追加した。スイスの世帯自動車保有率はきわめて高く、Mikrozensusデータでは約8割である。今回は年間自動車走行量が100km以上である12,855世帯を対象とした。約半数が単身者であり、ドイツ語を話す世帯が約6割、集合住宅居住世帯の比率が約5%、別荘数の平均は0.13にすぎず、8割以上の人は所有していない。

単純に人口密度と世帯の年間自動車走行量の関係を示したものが図1である。人口密度が高いほど自動車走行量が短くなる傾向は読み取れるが、ばらつきがきわめて大きい。他の変数の影響も考慮する必要があるし、ここに数本の直線を引く、すなわち潜在クラスに分割することも可能かもしれない。

5. 結果

(1) クラス数 (K)

クラスをわけない ($K=1$) よりもクラスをわけた方が BIC/AIC は小さく、BIC に基づく最適クラス数は 2、AIC では 5 という結果が得られた (表 2)。なお説明は省略するが、単身世帯と非単身世帯をわけて推定しても同じ結果であった。しかし $K=5$ においては、切片は異なるが他のパラメータは似

表2 クラス数別BICおよびAIC

K	1	2	3	4	5	6
BIC	29843	28081	28108	28165	28225	28237
AIC	29784	27955	27914	27905	27898	27910

た値を示すクラスが2つ作成され、過度にクラス分けされていると判断し、K=1, 2, 4における結果について検討することにした。

(2) 各クラスの特徴

推計結果を表3に示す。まずクラスをわけないK=1においては、すべてのパラメータは統計的に有意に推定されるが決定係数は0.1であった。

次にBICが最大となるK=2においては、93%の世帯がクラス1に分割されるが、クラス1、2ともに人口密度のパラメータは統計的に有意にマイナスである。すなわち、人口密度は選好にかかわらず走行量に影響を及ぼす変数であるといえる。またクラス1は人口密度、所得ともにパラメータ(弾性値でもある)が、クラス2よりも小さく、

これらの変化に相対的に影響をうけにくい世帯であることを示す。

K=4については、主として所得弾力性の大きさによってクラスが形成された。約6割の世帯はK=2のクラス1の世帯とほぼ同じ値である。クラス2やクラス3は、所得弾力性が高い世帯であり、人口密度の弾力性もクラス1と比較して相対的に高い。興味深い点は約7%の世帯は、人口密度の影響はうけない(加えて、所得や世帯人員数の影響もうけない)という結果となった。こうした世帯はK=5としたときも抽出されるが、K=3としたときは抽出されない。このクラスの世帯は、人口密度が高くなったとしても自動車走行量は変化しないといえる。

それぞれのクラスの特徴をもう少し詳細にみるために、説明変数として保有台数や保有する車種について検討を行った(これらの変数を説明変数に加えなかった理由は、残差がこれらの変数と相関することが予想され、適切なパラメータが得られないと考えたためである)。図2, 3にそれぞれK=2, 4のときの結果を示す。

表3 パラメータ推定結果(被説明変数: log(自動車走行量))

クラス数	1		2				4		3		4			
	パラメータ	t値	パラメータ	z値	パラメータ	z値	パラメータ	z値	パラメータ	z値	パラメータ	z値		
クラス			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
事後確率			93%		7%		59%		24%		11%		7%	
定数項	6.35	51.42	6.74	56.90	5.01	7.15	7.86	30.10	3.27	1.74	1.23	1.33	8.13	3.04
log(人口密度)	-0.10	-18.39	-0.09	-18.71	-0.12	-4.29	-0.09	-10.49	-0.15	-2.71	-0.13	-4.79	-0.07	-0.78
log(世帯人員数)	0.17	11.77	0.13	9.67	0.35	4.53	0.14	5.51	0.42	4.15	0.03	0.53	0.15	0.57
log(所得)	0.36	25.00	0.33	24.34	0.40	4.92	0.21	6.79	0.62	3.09	0.97	9.31	0.02	0.05
非ドイツ語ダミー	0.094	6.45	0.12	9.00	-0.06	-0.78	0.14	4.99	-0.07	-0.66	0.05	0.65	-0.07	-0.26
集合住宅ダミー	0.043	2.63	0.01	0.54	0.19	2.19	-0.01	-0.31	0.25	2.09	0.07	0.83	0.09	0.30
log(別荘数+1)	0.18	6.15	0.12	4.45	0.45	2.85	0.12	2.54	0.70	1.98	-0.07	-0.45	-0.07	-0.15

注: z値の絶対値が2未満であり、0という仮説が棄却されない変数を斜体で示した。

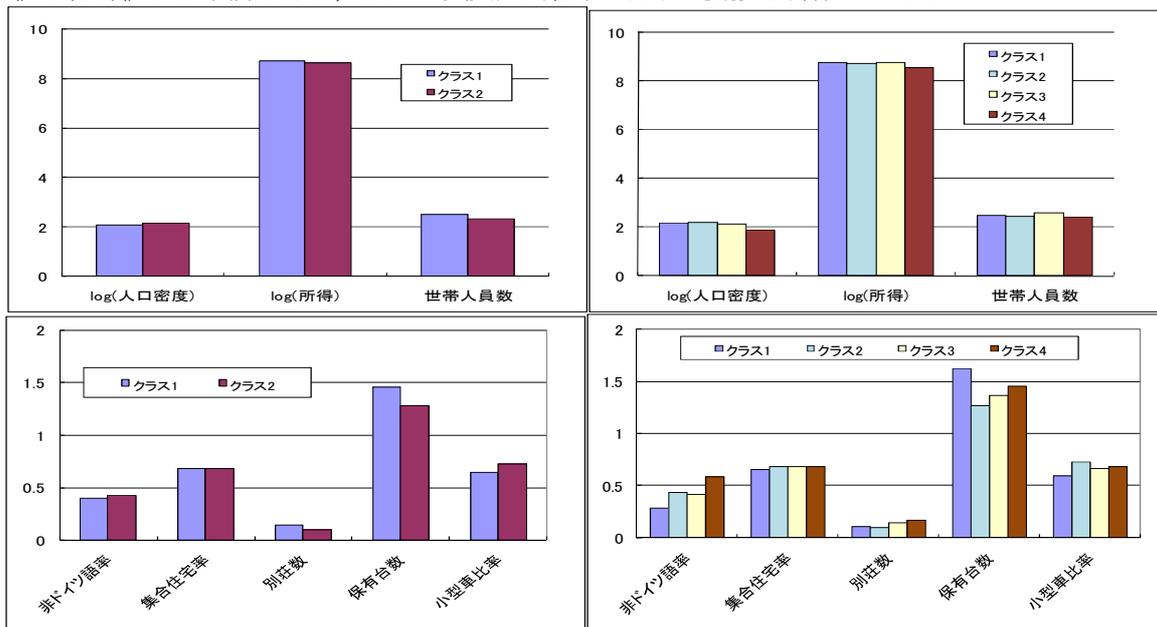


図2 K=2のときの各クラスの特徴

図3 K=4のときの各クラスの特徴

K=2において、人口密度弾力性の大きい世帯は、相対的に保有台数が少なく、小型車を保有する比率が高い。これはK=4でも同じである(クラス2)。一方、K=4において人口密度の影響を受けない世帯(クラス4)は、非ドイツ語圏で人口密度の低い地域に居住し、別荘数の多い世帯と推測される。

6. おわりに

以上、本研究は同じ選好をもつクラスへの分割と、それぞれのクラスの特徴の推定を同時に行う潜在クラスモデルを用いて、スイスの世帯における自動車走行量に関する人口密度の影響を分析した。その結果、BICを最小とするクラス数は2であり、このときクラスによらず人口密度の影響はあり、その弾力性は-0.09, -0.13であった。BICは落ちるがクラス数を4としたとき、約7%の世帯は所得や人口密度の影響を受けない世帯として抽出された。そうした世帯は非ドイツ語圏で人口密度の低い地域に居住し、別荘数の多いことが推測された。

人口密度弾力性は都市レベルの集計データを用いた場合(0.3-0.5)より小さな値が得られたが、ゼロではなく、立地誘導によるコンパクト化の意義はあるといえる。また今回の分析結果より、人口密度弾力性の大きい世帯は、相対的に保有台数が少なく、小型車を保有する確率が高い可能性が示されたが、そうした世帯が人口密度の低い地域に居住しているケースも少なくない。今後、こうした知見を踏まえて費用対効果の高い立地誘導策について検討したい。

また今回のモデルでは、主要都市までの距離など空間属性やコミュニケーション単位で得られる緑の党への投票率といった情報を活用していない。さらに保有台数や保有する車種を被説明変数として加えることで、より正確に選好の多様性を把握したい。さらに、日本を対象に住宅、自動車保有、交通行動を同時に扱った個票データを用いた分析も行いたいと考えている。

参考文献

- 1) Newman W.G. and J.R. Kenworthy (1989) "Gasoline Consumption and Cities," *Journal of the American Planning Association*, 55, 24-35
- 2) Masayoshi Tanishita (2006) "Transport Energy Intensity and Mobility Trends in The World from 1980 to 1995," *Journal of Global Environmental Engineering*, 11, 59-73
- 3) Thomas F. Golob and David Brownstone(2005) "The Impact of Residential Density on Vehicle Usage and Energy Consumption," Working paper, <http://orion.oac.uci.edu/~dbrownst/JUESprawl.pdf> (Access: 13JUL2008)
- 4) Patricia L. Mokhtarian and Xinyu Cao (2008) "Examining the impacts of residential Self-selection on travel behavior: A focus on methodologies," Forthcoming, *Transportation Research Pt. B*.
- 5) Kitamura, R, Mokhtarian P, Laidet L (1997) "A Micro-analysis of land-use and travel in five neighborhoods in the San Francisco Bay Area," *Transportation*, 24, 125-158
- 6) Bagley and Mokhtarian (2002) "The Impact of Residential Neighborhood Type on Travel Behavior: A Structural Equations Modeling Approach," *Annals of Regional Science*. 36, 279-297.
- 7) Handy, S., X. Cao, and P.L. Mokhtarian (2005) "Correlation or Causality Between the Built Environment and Travel Behavior? Evidence from Northern California." *Transportation Research Pt. D*, 10, 427-444.
- 8) Tim Schwanen, Patricia L. Mokhtarian (2005) "What if you live in the wrong neighborhood? The impact of residential neighborhood type dissonance on distance traveled," *Transportation Research Pt. D*, 10(2), 127-151.
- 9) Kurauchi, S., Morikawa, T. (2001) "An exploratory analysis with discrete choice model with latent classes considering heterogeneity of decision making rules," *Travel Behaviour Research - The Leading Edge*, ed. David Hensher, Pergamon, 409-423.
- 10) Greene, W.H., and Hensher, D.A., (2003) A latent class model for discrete choice analysis: contrasts with mixed logit, *Transportation Research Pt. B*, 37, 681-698.
- 11) Masashi Kuwano Junyi Zhang and Akimasa Fujiwara(2007) "Representing household vehicle holding duration with heterogeneous distributions based on latent class approach," *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, <http://www.cvg.ynu.ac.jp/G4/okamura/100401.pdf> (Access: 13JUL2008)
- 12) Walker, L.J. and Jieping Li (2007) "Latent Lifestyle Preferences and Household Location Decisions," *Journal of Geographical Systems*, 9(1), 77-101
- 13) Dempster A, Laird N, Rubin D. (1977) "Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM-Algorithm," *Journal of the Royal Statistical Society, B*, 39, 1-38
- 14) Andrews, Rick L., and Imran S. Currim (2003) "A Comparison of Segment Retention Criteria for Finite Mixture Logit Models," *Journal of Marketing Research*, 40, 235-243