

世帯の多様性を考慮した人口密度が自動車走行量に及ぼす影響分析

-オーナーインタビュー調査を用いた潜在クラス回帰分析-

Impact Analysis of Population Density on Car Mileage Considering Household Heterogeneity

-Latent class regression analysis using owner interview survey data-

谷下雅義

By Masayoshi TANISHITA

1. 背景・目的

道路整備やCO2・環境負荷の削減策を考える上で重要な変数である自動車走行量について、その影響要因として人口密度に着目した研究はこれまで国内外で行われてきた¹⁾。最近では、Brownstone and Golob (2009)²⁾やNiovi Karathodoro et. al. (2010)³⁾がGDPやガソリン燃料価格を考慮した上で人口密度が自動車走行量やエネルギー消費量に及ぼす影響を分析し、年間自動車走行量の人口密度弾力性は-0.24~-0.23という結果を得ている。わが国では小林・福田ら(2009)⁴⁾がオーナーインタビュー調査の個票データを用いて、連続・離散モデルにより世帯特性・地域特性を考慮した自動車複数保有と走行量に及ぼす影響の分析を行い、人口密度が小さい地域にすむほど走行量が減少することを示している。

しかし、小林・福田らの研究は走行量に関する推定精度は決して高くない。その理由の一つとして世帯の選好の異質性が十分に考慮されていないことがあげられる。また異質性の考慮により人口密度によって走行量を大きく変化させる世帯の特徴がわかれば、より効果的な都市誘導施策の検討が可能となる。

そこで本研究は、潜在クラス回帰分析を用いて選好の異質性を考慮して自動車走行量の推定を行う。そして各クラスの世帯の特徴を分析することにより、都市のコンパクト化に向けていかなる世帯を誘導するのが望ましいかについて検討するための材料を提供することを目指す。

2. 方法

潜在クラス回帰分析

潜在クラス分析は、対象集団に観測されない異質性が存在することを前提に、集団を構成する具体的な混合分布モデルを探索する統計手法であり、これまでマーケティングの分野で用いられてきた。交通の分野では、たと

えば桑野ら(2007)⁵⁾の研究で用いられた。潜在クラス回帰分析は、クラス分類と回帰分析を同時に行う手法である。

パラメータ推定

パラメータを $\varphi = (\pi, \theta)$ 、クラス数 K を所与とし、クラス k に属する確率を π_k で表す。いま (x, y) が観測される確率 h を記述する。

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

ここで、

y : 被説明変数 (本研究では一日の自動車走行量)

x : 説明変数 (本研究では世帯特性, 地域特性)

θ : パラメータ

π : クラスに属する確率

$f(\cdot)$: クラスを所与としたときの確率密度関数

である。そして、あるサンプルがクラス j に属する確率は

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

となる。パラメータ φ は対数尤度

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

が最大とするよう、EMアルゴリズムを用いて推定される。なお、クラス数が1のときは最尤法と同じとなる。

この方法は、クラス数を所与として推定する方法であるため、モデルの適合度はベイジアン基準量(BIC)あるいは赤池情報量基準(AIC)により評価される。これらの値が最小になるクラス数を最適クラス数と判断する。

各クラスのパラメータに選好が反映されていると考えることができるため、推定されたパラメータから各クラスの特徴を事後的に把握する。

本研究では、各クラスの人口密度のパラメータの大きさと世帯属性との関係に着目して分析を行う。

3. データ

*キーワード: 自動車利用, 潜在クラス回帰

中央大学理工学部都市環境学科

〒112-8551 文京区春日 1-13-27

tanishi@civil.chuo-u.ac.jp

総走行距離

オーナーインタビュー調査2005 (542, 783世帯) をもちいる。この調査は平日休日のある1日調査日における世帯が保有する自動車の走行距離が記載されている。そのため、以下のように一台の一日の走行距離の最確値を算出して用いる。

$$\text{自動車一台の一日の走行距離} = ((\text{平日走行距離} \times 5) + (\text{休日走行距離} \times 2)) \div 7$$

各世帯が保有する自動車の走行距離を合計した総走行距離(km/日)を被説明変数とする。このヒストグラムを図-1に示す。ただし、調査日に限って、たまたま自動車を利用しなかった世帯も多数存在する。そういった世帯が普段一日にどれくらい自動車をするのかは残念ながら知ることができない。そのため走行距離がゼロの世帯は本研究では分析から除外する^{注)}。

また、オーナーインタビュー調査から取り出した一日の自動車走行量のデータの中には自動車一台が一日に走行するには明らかに走行量の大きすぎると考えられる世帯が多数存在する。一般に自動車の走行量の平均は年間10,000km程度(一日に換算して27km/日)であり、調査日にたまたま自動車を多く走らせたことも考慮して、一台当たり100km以上走行している自動車のデータも分析から除外し、361,697世帯を分析対象とした。

次に、世帯の自動車走行量を説明する変数として、オーナーインタビュー調査から世帯の特徴を表すデータとその他の世帯が属する都市の特徴を表すデータを、以下の外部データベースから取得した(表-1)。

- ・民力 2008
- ・総務省統計局 (e-stat)
- ・全国デジタル道路地図データベース
- ・数値地図 2001

子どもの人数

世帯に子どもが居るかどうかが、またその人数は自動車の利用目的に大きく影響しそうである。しかし子どもの年齢によって、レジャー目的での自動車利用が増える場合や、子どもがある程度成長し、家族との旅行に行かなくなる場合が考えられる。そこで、子どもの人数に関して以下の2種類の変数を定義した。

- ・18歳以下の子どもの人数
- ・12歳以下の子どもの人数

所得

オーナーインタビュー調査からは各世帯の所得に関するデータを得ることはできない。そこで世帯の所属する

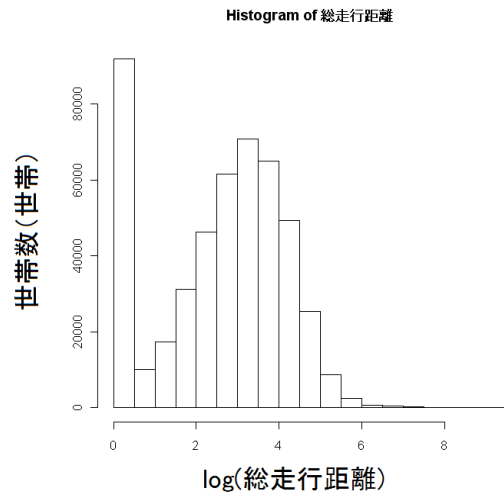


図-1 走行距離のヒストグラム (542, 783世帯)

表-1 使用するデータ

被説明変数	内容
総走行距離(km)/2005年	世帯の保有する全ての車種の自動車の一日の総走行距離の合計
説明変数	内容
世帯別データ	
世帯人数(人)/2005年	
18歳以下子どもの人数(人)/2005年	
12歳以下子どもの人数(人)/2005年	
高齢者の人数(人)/2005年	
免許保有者数(人)/2005年	各世帯の普通自動車免許・大型自動車免許の保有者の人数
自動車保有台数(台)/2005年	各世帯が保有している自動車の台数
都道府県別データ	
県民平均所得(千円)/2005年	県民一人当りの月額所得の平均
労働者平均給与(円)/2005年	雇用労働者一人当りの平均月額現金給与額
宅地化率(%) /2005年	宅地面積÷民有地面積
市区町村別データ	
人口密度1(人/km ²)/2005年	住民基本台帳人口÷市区町村総面積
人口密度2(人/km ²)/2005年	住民基本台帳人口÷市区町村可住地面積
面積当たり道路実延長合計(1/km)/2007年	道路法に定義された道路の長さの合計÷(総面積)
面積・台数当たり道路実延長合計(1/km・割合)/2007年	道路法に定義された道路の長さの合計÷(総面積×市区町村保有台数)
面積当たり鉄道駅数(1/km ²)/2001年	市区町村内の鉄道駅数÷(総面積)
鉄道駅数・道路実延長(1/km)/2001年	市区町村内の鉄道駅数÷道路実延長合計
一世帯平均課税対象所得額(百万円)/2005年	市区町村住民税の課税対象となった前年度の所得金額の合計÷国勢調査世帯数

市区町村の「課税対象所得額合計」から一世帯平均の課税対象所得額を算出して分析に用いる。

人口密度

人口密度に関しては以下の2つの定義をした。

- ・人口密度1 (住民基本台帳人口÷総面積)
- ・人口密度2 (住民基本台帳人口÷可住地面積)

道路、公共交通のサービス水準

世帯が住まう地域において自動車が利用しやすい環境かどうか、また反対に自動車よりも他の交通機関を利用するほうが便利かどうかは走行量に大きく関係しそうである。そこで以下の変数を検討した。

- ・面積当たり道路実延長
- ・面積当たり鉄道駅数
- ・鉄道駅数/道路実延長

表-2 分析に用いるデータの記述統計

	最小値	最大値	平均値	中央値	標準偏差
18歳以下の子ども的人数(人)	0.00	6.00	0.57	0.00	0.82
12歳以下の子ども的人数(人)	0.00	6.00	0.35	0.00	0.53
高齢者の人数(人)	0.00	6.00	0.53	0.00	0.77
免許保有者数(人)	0.00	8.00	2.28	2.00	1.01
人口密度1(人/km ²)	1.60E+00	1.91E+04	1.58E+03	6.30E+02	2.52E+03
人口密度2(人/km ²)	1.32E+01	1.99E+04	2.16E+03	1.21E+03	2.66E+03
鉄道駅数/道路実延長(駅/km)	0.00	0.46	0.01	0.01	0.02
一世帯平均課税対象所得(百万円)	1.23	9.25	3.45	3.40	0.65
総走行距離(km)	0.30	322.30	30.42	21.00	30.45

多重共線性の問題を回避するため、各変数の相関行列を作成し、相関の強い変数同士は分析から除外した。記述統計を表-2に示す。また「子どもの人数」「人口密度」「道路・公共交通のサービス水準」は複数の定義、関数形の中から、BIC・AICが小さい値となるものを用いた。実数よりもすべての変数で対数値が採択された。パラメータは走行距離に対する弾性値として解釈できる。

4. 結果

4.1 最適クラス数の判定(表-3)

クラス分けをしない推定モデルよりも、クラスを分けた推定モデルの方がBIC・AICは小さく、BICとAICに基づく最適クラス数はともに6と判断された。

4.2 各クラスの特徴

推定結果を表-4に示す。クラスを分けないモデルにおいては「鉄道駅数/道路実延長」の変数以外は有意な変数としてパラメータが推定された。各変数に関して着目すると、子どもの人数・高齢者の人数・免許保有者数といった家族構成に関する変数のパラメータはすべて正の値となっており、自動車利用を促進する。

人口密度に着目すると、先行研究同様、走行量とは負の相関があることが読み取れる。人口密度が高い地域に

表-3 クラス数別BIC・AICと決定係数

クラス数	1	2	3	4	5	6	7
BIC	961993	940919	936880	935218	934969	933727	934043
AIC	961907	940736	936599	934844	934505	933103	933546
決定係数R ²	0.150	0.668	0.801	0.863	0.887	0.876	0.921

住んでいる世帯ほど、自動車の利用が減る。また、所得も走行量と正の相関があると読み取れる。

「鉄道駅数/道路実延長」は自動車走行量に影響しないという結果となった。相関係数は0.39と決して高くないが、人口密度で表現されていると考えられる。

クラスを6つに分けたモデルにおいて人口密度は約1%の世帯を除いて統計的に有意な変数であると示された。どのクラスにおいても人口密度パラメータは負の値をとっており、すべての世帯が人口密度の増加にともなって自動車走行量が減少するといえる。子どもの人数に関しては約10%の世帯が走行量と負の相関がある。子どもが存在する世帯ほどレジャーや子どもの送り迎えのために自動車利用が増えると考えていたが、子どもが多い世帯ほど教育費等がかかり、自動車利用に費やすお金が減るということも考えられる。12歳以下の年齢の子どもだけを変数として抽出し、同様の分析を行ったが、パラメータが負のクラスが1つ形成された。

人口密度の弾性値に注目すると、全体の8割を占めるクラス1・2(8割)が加重平均で-0.24、残り2割の4つのクラスは加重平均が-0.09と大きく2つのグループに分類された。人口密度弾性値が大きいクラス1・2と、小さい残りのクラスに分けた人口密度のヒストグラムを図-2に示す。

各クラスの特徴をもう少し詳細に見るために、分析にかけた全世帯を各クラスに分け、各クラスの説明変数の平均値を求めた。各クラスの平均値にはわずかな差しかないが、各クラスの各変数の平均値と母集団の各変数の平均値に差があるかどうかをt検定により調べたところ、どの変数も母集団と各クラスで差があると判定された。

表-4 パラメータ推定結果(被説明変数: log(総走行距離)) ※斜字は有意でない変数のパラメータ

クラス数	クラス	クラスサイズ	決定係数R ²	定数項	子どもの人数	高齢者の人数	免許保有者数	人口密度2	鉄道駅数/道路実延長	一世帯平均課税対象所得額	
1	Class1	100%	0.15	パラメータ	3.44	0.02	0.04	0.91	-0.22	0.04	0.07
				t値	243.48	7.51	11.57	179.28	-124.24	0.40	7.95
6	Class1	58%	0.34	パラメータ	3.74	0.02	0.05	0.97	-0.23	0.04	0.08
				z値	188.83	4.55	10.96	144.15	-77.33	0.37	7.70
	Class2	22%	0.37	パラメータ	3.09	0.06	0.05	0.78	-0.25	-0.17	0.06
				z値	67.79	8.55	6.49	51.59	-59.35	-0.82	3.05
	Class3	10%	0.59	パラメータ	3.30	-0.05	0.02	1.15	-0.08	-0.09	0.00
				z値	80.47	-6.37	2.47	79.58	-13.55	-0.45	0.23
	Class4	7%	0.24	パラメータ	1.91	0.03	0.02	0.48	-0.14	0.19	-0.02
				z値	41.36	3.55	1.74	27.71	-23.58	0.60	-0.94
	Class5	2%	0.04	パラメータ	0.86	0.00	0.00	0.10	-0.02	-0.51	-0.04
				z値	23.93	-0.08	-0.19	6.50	-4.50	-1.75	-1.57
	Class6	1%	0.96	パラメータ	2.89	0.00	-0.01	1.48	0.00	0.05	-0.01
				z値	94.12	0.50	-0.79	120.82	-0.77	0.48	-0.33

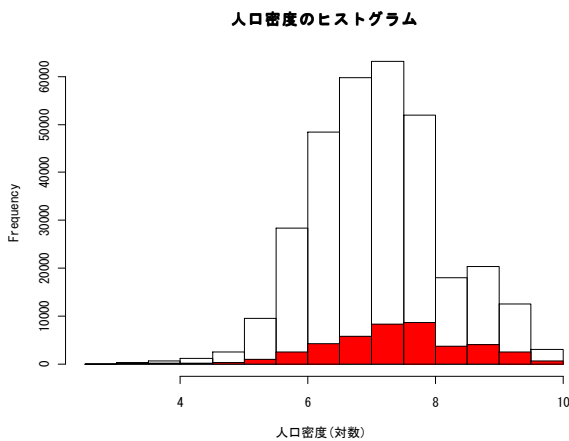


図-2 人口密度のヒストグラム
 (白：人口密度弾力性が大きい世帯/
 塗りつぶし：人口密度弾力性が小さい世帯)

紙面の都合で図は省略するが、人口密度弾力性が大きい世帯は、郊外に住み、子どもや高齢者が多く住んでおり、レジャー・観光目的で自動車を利用していると推定された。一方、人口密度弾力性が小さい世帯は、大きく2つのグループに分けられる。1つは、都心に住んでおり、子どもや高齢者が少ない世帯であり、走行量が多い。もう1つは、人口密度の小さな郊外に住んでおり、保有台数が少なく普段からあまり自動車を利用しない、子どもが増えると走行量が減る傾向もあり、走行量も大きくない世帯である。

子どもや高齢者が多く、人口密度の低い郊外に住んでいる世帯を人口密度の高い都心に移動させて走行量を減少させ、かわりに都心に住み、子どもや高齢者が少ない世帯を郊外に移動させることで人口の空間構造に大きな変化を与えないでCO2を減少することができる。

しかし、人口密度弾力性の高い郊外に居住する世帯また人口密度弾力性が低く都心に世帯は、ともに自ら選んで郊外や都心に居住している可能性が高い。見方を変えると地代を通じて立地が調整されており、それを越えるインセンティブ施策を導入しないと世帯の誘導が難しいということを示唆していると考えられる。

5. まとめと今後の課題

以上、本研究では自動車利用について選好の違いを考慮して世帯のクラスへの分割と、それぞれのクラスの特徴の推定を行う潜在クラスモデルを用いて、人口密度の影響を分析した。その結果、人口密度弾力性は-0.24の世帯が8割、残り2割の世帯の人口密度弾力性は-0.09であった。人口密度弾力性が小さい世帯は、都心に住む世帯と郊外に住む世帯に分けられる。郊外に住み、子どもと高齢者が多いという特性を有する世帯を都心に移動させて走行量を減少させ、かわりに都心に住み、子どもや高齢者が少ない世帯

帯を郊外に移動させることで人口の空間構造に大きな変化を与えないでCO2を削減できることなどを明らかにした。

今回の分析では世帯の自動車走行量をオーナーインタビュー調査から入手した。しかし、オーナーインタビュー調査からは平日休日の2日間の自動車走行量しかわからない。そのため、普段は自動車を利用しているのにも関わらず、調査日に限って自動車を利用しなかった世帯が存在する。一方で調査日にたまたま普段よりも多く自動車を利用している世帯も存在する。より正確な走行量の推定をするために、年間あるいは月間の走行距離を被説明変数として扱う必要がある⁽¹⁾。また、本研究では最寄駅までの距離などの空間属性を利用していない。さらに所得に関しては世帯単位でのデータを入手していないため、市区町村の世帯平均所得を変数として用いている。今後、世帯単位の変数を用いてより正確な選好の多様性を考慮したモデルを作成することが必要である。

注

(1)本研究では走行量がゼロであった世帯も含めて潜在クラスTobit回帰分析も行った。紙面の都合ですべての結果を載せることはできないが、最適クラス数は7となったが、ひとつのクラスはすべて走行量ゼロのクラスとして分類されてしまった。そして残りの世帯は、今回の分類とはほぼ同じ結果となった。また所得についてクラス別にわけた推定も行ったが、対数を用いたモデルの方がAIC/BICが小さかった。

謝辞

本稿の作成にあたり、増田和之氏(千葉市役所)にデータ収集及び分析の協力を得た。また福田大輔准教授(東京工業大学)より貴重なコメントをいただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) NRC: *Driving and the Build Environment*, 2010.
- 2) David Brownstone and Thomas F. Golob: The Impact of Residential Density on Vehicle Usage and Energy Consumption, *Journal of Urban Economics*, 65(1), pp.91-98, 2007.
- 3) Niovi Karathodorou, Daniel J. Graham and Robert B. Noland: Estimating the Effect of Urban Density on Fuel Demand, *Energy Economics*, 32(1), pp.86-92, 2010.
- 4) 福田大輔, 小林迪子, 兵藤哲朗, 田中倫英: 道路交通センサデータを用了世帯の自動車複数保有及び利用構造の分析, 日本交通政策研究会, 2009.
- 5) 桑野将司, 藤原章正, 張峻屹, 岡英紀: 複数ピークをもつ分布形状を取り入れた世帯自動車保有期間モデルの開発と政策分析への応用, 都市計画論文集, 42(3), pp.571-576, 2007.