

選択肢集合の形成を内生させた新たな離散選択モデルの開発 及び都心回遊行動分析への応用 *

Development of Discrete Choice Model with Endogenous Generation of Choice Set and its Application to the Analysis of Excursion Behavior at City Center *

張峻屹**・藤原章正***・日下部達夫****

By Junyi ZHANG・Akimasa FUJIWARA・Tatsuo KUSAKABE

1. はじめに

近年、都心の空洞化が懸念される中、多くの都市で来街者を増加させて都心の活性化を図る努力がなされている。交通の視点から見た活性化策としては、都心部全体の駐車場利用の効率化や、交通流の円滑化を図ることが挙げられる。特に、都心の駐車場は、駐車場の利用に時間経過による課金があること、場所と移動手段の制限などにより、活動事態の制約となっている部分がある。このように駐車場と都心内活動には関連性が見られ、その特性を把握することは今後の都心活性化の検討をする場合にも重要になる。

駐車場施策をとることを念頭においた場合、駐車場にはそれぞれの特性があるため、ドライバーの駐車場の選択性を考慮する必要がある。交通の分野では、今まで選択モデルの研究について多く行われてきた。選択モデルにおいて、個人の選択までのプロセスは、「認知」、「選別」、「選択」の3段階に分けて考えられる。通常、分析者が「認知」と「選別」に関しては正確な情報を得ることが難しく、個人の選択肢集合を客観的に決定している。多くの行動モデルでは、選択肢を所与とするケースが多い。しかし、実際にドライバーは物理的に利用可能な膨大な選択肢の全てを考慮しているわけではない。特に駐車場選択モデルなど、都心における利用可能な選択肢は多く、その特定は困難である。都心の駐車場選択を扱う際には、このような不確定要素が多いために、選択肢集合を確定できず選択結果に影響を及ぼし、施策の過大評価、過小評価につながる可能性がある。そのため、都心における駐車場を

利用する際にドライバーが実際に考慮する現実的な選択肢集合の生成のメカニズム、選択肢集合決定の不確実性を考慮したモデルの開発が必要になってくる。

そこで、本研究では、相対性効用の概念を活かして、選択肢集合形成の内生と選択肢間の類似性を同時に表現することのできる新たな離散選択モデルを開発する。そして、休日の自動車での都心来訪者を対象に、駐車場選択が都心内活動に与える影響をモデル化することで、駐車料金施策による都心来訪者の回遊行動の増加を分析する。

2. 既往の研究

選択モデルにおいて、個人の選択肢集合の形成を特定することは大変困難である。もっとも単純な方法は、個人の選択肢集合の情報を直接得ることである。しかし、問題として、この選択肢集合の設定の相違がモデルパラメータの推定結果に影響を及ぼすこととなる。特に非日常交通における選択肢集合は個人ごとに異なりその数は膨大になるため、分析者が確定できず、選択肢集合の選別を仮定せざるを得ない。

選択肢集合決定の不確実性を考慮した研究を以下のように大別することができる。

a) 選別・選択過程を用い選択肢集合の形成確率を考慮した選択モデル

b) 選択肢集合の確率的形成を考慮した選択モデル

a) の一般形として、Manski (1977)¹⁾により定式化されている。すなわち選択肢 i が選択される確率は、「選択肢 i が選択肢集合 C に選別される確率」と「選択肢集合 C から選択肢 i が選択される確率」という2段階で構成される。しかし、選択肢の数が多くなると選択肢集合の数が指数的に増えていく問題を対処することができなかった。そこで、森川ら (1991)²⁾は、より一般的なモデルを開発した。「選択・選別の同時決定モデル」ともいえるもので、非補償型の選別過程を

* キーワズ：選択肢集合の形成、相対性効用理論、駐車場

** 正会員，博（工） 広島大学大学院国際協力研究科
E-mail: zjy@hiroshima-u.ac.jp

*** 正会員，博（工） 広島大学大学院国際協力研究科
E-mail: afujiw@hiroshima-u.ac.jp

**** 学生員，学（工） 広島大学大学院国際協力研究科
E-mail: kusakabe@hiroshima-u.ac.jp

選別確率の導入によって、より一般化している。

b) は、目的地の選別を効用関数の変数として扱い、利用可能な全目的地を対象に選択モデルを推定する方法である。この事例としては、買い物目的地の選択モデルに目的地の利用可能性をあげた森地ら (1984)³⁾の研究が挙げられる。

また、選択肢集合と選択行動との関係に関する研究として、兵藤ら (2001)⁴⁾は、選択肢の増加と選択行動との関係を定量的に捉えるため、ロジットモデルを用いて駐車場の認知・非認知モデルを構築し、駐車場の認知と駐車場の階層選択モデルを提案した。結果、認知度の増加による駐車場選択確率の増加は、料金値下げと同等の利用率向上効果を得た。

しかし、Horowitz and Louviere (1995)⁵⁾が実証したように、選択肢集合の特定そのものは効用関数の一部に過ぎず、選択肢集合の特定段階では選択段階の効用関数に含まれる情報以外に何の有用な情報も提供できない。

3. 相対性効用最大化理論に基づく離散選択モデル

通常、個人は嗜好のような心理的要素、経験、情報の不完全性などによりすべての選択肢を意思決定過程において均等に認識しておらず、個人は各選択肢に異なる重みを持って評価しているといった、選択肢に対する認識・評価の不均一性が生じていると考えられる。また、選択肢の効用については当該選択肢の属性以外に、選択肢集合にある他の選択肢の影響、過去・将来の選択行動の影響、他人からの影響を受けるといった文脈依存性があると考えられる。よって、選択肢への認識・評価の不均一性および文脈依存性を考慮するモデルとして相対性効用最大化理論に基づいた離散選択モデルがある⁶⁾。

相対性効用関数は、式 (1) のように定義される。このように、相対性効用関数は他のすべての選択肢との効用差分の和を重み付けた上で定義される。

$$U_{ij} = r_{ij} \sum_{j' \neq j} (u_{ij} - u_{ij'}) = r_{ij} \sum_{j' \neq j} (v_{ij} - v_{ij'}) + e_{ij} \quad (1)$$

ここで、 U_{ij} は選択肢 j の相対性効用、 e_{ij} は誤差項、 u_{ij} は従来の効用、 v_{ij} は従来の効用確定項、 r_{ij} は選択肢 j の相対重要性を表すパラメータである。

相対重要性パラメータは、集団意思決定理論から借用された概念であり、意思決定者が異なる選択肢に、異なる重みを置いていることを表現するものである。また、相対重要性パラメータに、過去の経験や個人属性といったものを取り入れることが可能であり、より広範な文脈依存性を考慮できると考えられている。ま

た、この相対重要性パラメータは、理論的にあらゆる実数値をとりうる。

式 (1) の誤差項の分布により、異なる選択モデルを導出することができる。例えば、 e_{ij} ガンベル分布に従うとした場合、以下のような離散選択モデル (r_MNL) を構築することができる。

$$P_{ij} = \frac{\exp\{r_{ij} \sum_{j' \neq j} (v_{ij} - v_{ij'})\}}{\sum_k \exp\{r_{ik} \sum_{k' \neq k} (v_{ik} - v_{ik'})\}} \quad (2)$$

4. 選択肢集合の内生化を考慮した選択モデル

ここで、相対性効用関数に取り入れられる相対重要性パラメータを活かした、選択肢集合の形成を内生化させた離散選択モデルを提案する。

理論的には、相対重要性パラメータは実数軸上、どのような値も取りうるという特性を生かして、式 (1) をまず以下のように変形する。

$$\begin{aligned} U_{ij} &= \ln(w_{ij}) + \bar{r}_{ij} \sum_{j' \neq j} (u_{ij} - u_{ij'}) \\ &= \ln(w_{ij}) + \bar{r}_{ij} \sum_{j' \neq j} (v_{ij} - v_{ij'}) + e_{ij} \end{aligned} \quad (3)$$

そして、式(3)の中の w_{ij} と \bar{r}_{ij} はそれぞれ以下の条件式を満たす。

$$0 \leq w_{ij} \leq 1, \quad -\infty < \bar{r}_{ij} < \infty \quad (4)$$

式(3)を式(2)に代入し、変形を行うと、以下のような選択確率式 (r_GenL モデルと呼ぶ) が得られる。

$$\begin{aligned} P_{ij} &= \frac{\exp\{\ln(w_{ij}) + \bar{r}_{ij} \sum_{j' \neq j} (v_{ij} - v_{ij'})\}}{\sum_k \exp\{\ln(w_{ik}) + \bar{r}_{ik} \sum_{k' \neq k} (v_{ik} - v_{ik'})\}} \\ &= \frac{w_{ij} \exp\{\bar{r}_{ij} \sum_{j' \neq j} (v_{ij} - v_{ij'})\}}{\sum_k w_{ik} \exp\{\bar{r}_{ik} \sum_{k' \neq k} (v_{ik} - v_{ik'})\}} \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)の中で、 w_{ij} は 0 と 1 の間の値をとるため、以下のような定義式を設定することができる。

$$w_{ij} = \frac{\exp\{\sum_k (\beta_{jk} X_{ijk})\}}{\sum_j \exp\{\sum_k (\beta_{jk} X_{ijk})\}} \quad (6)$$

ここで、もし X_{ijk} を選択肢集合の形成に影響する要因 (その重みパラメータが β_{jk}) として仮定すれば、 w_{ij} を個人の選択肢集合の形成確率として定義できる。

一方、選択肢間に階層構造が想定される場合に、前述のモデリング手法を簡単に拡張することができる。通常のネスティッドロジット (NL) モデルでは同一選択階層にある選択肢間の相互依存性 (類似性) を考慮することができない。この問題を、式(1)の相対性効用

の導入により容易に解決することができる。また、選択肢集合の形成については、式(3)をそのまま援用する。これらのことを同時に考慮した新たなネステッド型ロジットモデル（以降 r_GenNL モデルと呼ぶ）は以下のように導出することができる。なお、記述を簡単にするために、添字 i を省略する。

$$P_{dm} = P_{m'd} \cdot P_d \quad (7)$$

$$P_{m'd} = \frac{w_m \exp(r_m \sum_{m' \neq m} ((v_m + v_{md}) - (v_{m'} + v_{m'd})))}{\sum_{m'} w_{m'} \exp(r_{m'} \sum_{m'' \neq m'} ((v_{m'} + v_{m'd}) - (v_{m''} + v_{m'd})))} \quad (8)$$

$$P_d = \frac{w_d \exp(\mu r_d \sum_{d' \neq d} ((v_d + v'_{d'}) - (v_{d'} + v'_{d'})))}{\sum_{d'} w_{d'} \exp(\mu r_{d'} \sum_{d'' \neq d'} ((v_{d'} + v'_{d''}) - (v_{d''} + v'_{d''})))} \quad (9)$$

$$v'_{d'} = \ln(\sum_m w_m \exp(r_m \sum_{m' \neq m} ((v_m + v_{ms}) - (v_{m'} + v_{m's})))) \quad (10)$$

ここで、添字 d は上位階層にある選択肢（例えば目的地の選択）、 m は下位階層にある選択肢（例えば駐車場の選択）を表す。 μ ($0 < \mu \leq 1$) は下位選択肢が上位選択肢に与える影響を表すログサム変数のパラメータである。

5. 調査データの概要

著者らが広島市都心部における駐車場利用と休日活動の実態を把握するため、個人属性や駐車場の利用（駐車場の認知、駐車場情報の入手、滞在時間、料金など）と都心内活動（活動内容、訪問場所など）について、都心駐車場利用者を対象とし、都心の7ヶ所の駐車場でアンケート調査を2003年10月中旬に実施した(図1)。対象駐車場の特徴として、大型商業施設に隣接する駐車場(P1, P5, P6)、隣接しない駐車場(P2, P3, P4, P7)に大別することができる。

今回の調査で得られた全765サンプルの属性と休日の駐車場利用者の特性を図2に示す。図2から性別、

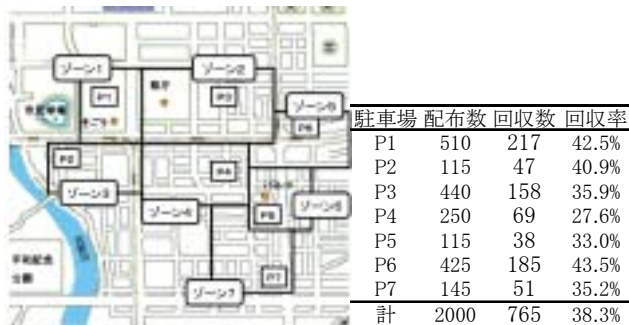


図1 調査対象駐車場とゾーン及び調査票回収状況

年齢ともにサンプルの構成比に偏りは見られない。職業については、定職についてない方が3割強を占め、そのうちの5割は専業主婦である。広島市内在住者が約7割を占める。また、休日の駐車場利用者の特性として、都心訪問頻度について、9割の方が月に1回以上都心を訪れていると答えており、駐車場や活動場所に関して学習を繰り返していると考えられる。休日の駐車場利用者はほぼ全員半分以上の割合で都心には車で来訪する。8割強の来訪者が買い物と食事をしており、都心内での消費活動を目的としていることがわかる。

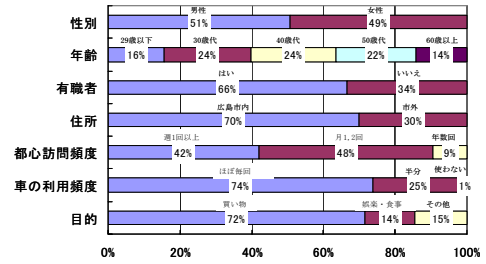


図2 サンプル属性と駐車場利用者特性

本研究では、対象駐車場を全選択肢集合とし、駐車場選択までの過程を捉えた。ここで、認知している駐車場の選択肢集合形成（認知）、自宅出発前に考慮した駐車場の選択肢集合形成（選別）、利用駐車場（選択）として定義する。駐車場利用者が認知している駐車場は都心部全体に分布しており一人当たり約10箇所の駐車場を認知している。一方で、当日自宅出発前に考慮する駐車場の数は平均1.7箇所と絞られ、特に広島市内の商業施設の分布に近い分布となった(図3, 図4)。つまり、駐車場利用者は駐車場を選ぶ際、認知しているすべての駐車場を考慮するのではなく、当日の目的に合わせて駐車場の選別を行っていること、また半数の人は代替駐車場を考えていないことがわかった。

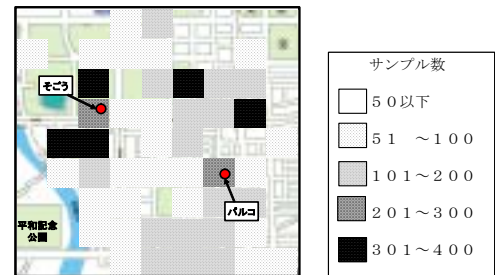


図3 認知している駐車場が存在するエリア

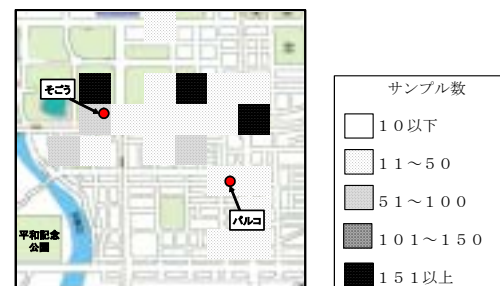


図4 当日自宅出発前に考慮した駐車場を含むエリア

6. 都市回遊行動モデルの構築及び推定

図5に本研究で仮定する階層型都心回遊行動モデルの選択構造を示す。個人は駐車場の選択を考慮し、あわせて都心での7ゾーンから活動場所(どこ&何ヶ所)を決めることとする。

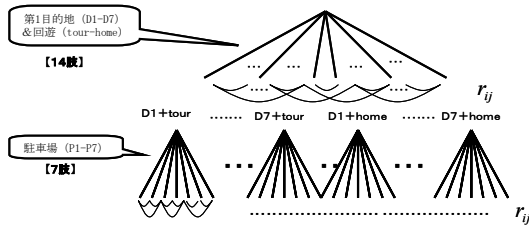


図5 意思決定選択構造

表1にr-GenNLモデルとNLモデルを比較した推定結果を示す。なお、限界徒歩距離は、距離の閾値を外生的に与え尤度比の一番高いものを採用した。その結果駐車場と目的地の往復距離は600m、回遊する場合は1,100mを閾値として選択肢集合の形成を行っていることがわかった。r-NLモデルは、NLモデルより尤度比が0.194向上しており相対性効用を用いた方が適合度が高い結果となった。このことから駐車場選択の影響を考慮した都心回遊行動を表現する際、駐車場の選択肢集合形成、類似性を考慮する妥当性が確認できた。駐車場選択、活動場所選択に関するパラメータは、どの変数についても有意で、符号も妥当であった。

表2より選択肢集合の形成確率は、駐車場の認知がパラメータ、t値ともに大きく、選択肢集合形成に最も大きく影響することがわかった。

表1 都心回遊行動モデルの推定結果

モデル	NL		r-GenNL	
	説明変数	Parameter	Parameter	
活動場所選択	最寄駅からの距離	-0.0013	0.0017	*
	来訪者割合	9.0640	6.0426	*
	定数項(回遊)	0.0457	-0.9885	
	定数項(帰宅)	-0.1657	-0.2056	
	ログサム変数のパラメータ			
	μ	0.5405	0.7987	*
相対重要性パラメータの説明変数				
●各活動場所の相対重要性パラメータは等しいとする				
駐車場選択	徒歩距離	-2.5935	-1.1244	*
	コスト(自己負担額/総額)	-6.1582	-1.6825	**
	待ち時間(平均待ち時間/滞)	-5.2684	-9.9968	*
	割引(有り:1、無し:0)	2.9787	13.7090	**
	定数項(回遊)	-1.6682	-7.4466	*
	定数項(帰宅)	-1.4550	-12.2331	**
	初期尤度	-1256.280	-1256.280	
	最終尤度	-892.670	-648.505	
	自由度調整済み尤度比	0.289	0.483	

サンプル数: 274 * 1%有意 ** 5%有意

表2 選択肢集合形成確率の推定結果

説明変数	Parameter	t値
駐車場の認知(認知:1、非認知:0)	3.7653	11.38
限界徒歩距離 ^{a)}	1.2692	4.20
情報(入手:1、未入手:0)	-0.6150	-0.43
同伴者(あり:1、なし:0)	0.8293	0.88
定数項(回遊)	-0.0945	-0.09
定数項(帰宅)	0.3124	0.25

注: ^{a)} 回遊限界徒歩距離は1100m, 往復限界徒歩距離は600m

7. 駐車場施策効果の評価

表3,表4に、とくに大型商業施設に隣接しない駐車場に対して駐車料金を60分刻み(普段20,30分刻み)に変更することで、自己負担率の低減を図ったシミュレーションの結果を示す。駐車場の組み合わせを考えた料金低減施策を行った場合、都市全体の回遊行動者が1.28%増加し、特に大型商業施設に隣接しない駐車場への対策が有効であることがわかった。

また、表4より、特に本通り付近(ゾーン4)での回遊行動の増加がみられた。(図1参照)

表3 シミュレーション結果(1)

施策内容	選択確率		変化率
	回遊	帰宅	回遊
基準	0.447	0.553	-
大型商業施設に隣接しない駐車場	0.452	0.548	1.28%

表4 シミュレーション結果(2)

	選択確率		変化率
	基準	変化後	変化率
ゾーン1(紙屋町)	0.150	0.148	-1.49%
ゾーン2(大手町)	0.017	0.017	-0.16%
ゾーン3(基町)	0.016	0.017	1.45%
ゾーン4(本通)	0.071	0.076	5.58%
ゾーン5(八丁堀)	0.161	0.163	1.28%
ゾーン6(新天地)	0.022	0.022	4.18%
ゾーン7(三川町)	0.010	0.011	4.39%
計	0.447	0.452	1.28%

8. おわりに

本研究では、相対性効用の概念を活かして、これまで難題として残されていた選択肢集合の形成を選択モデルの中で内生させることに成功した。駐車場選択を考慮した都心回遊行動モデルの構築に適用し、実証データを用いて検証した結果、その有効性を明らかにした。さらに、シミュレーション結果より、大型商業施設に隣接しない駐車場に対する料金低減施策を図ることで、来訪者の回遊行動の増加が示され、政策分析への応用可能性も確認した。

参考文献

- 1) Manski, C.: The structure of random utility models, Theory and Decision, Vol.8, pp.229-254, 1977.
- 2) 森川高行, 竹内博史, 加古裕二郎: 定量的観光魅力度と選択肢集合の不確実性を考慮した観光目的地選択分析, 土木計画学研究・論文集, No.9, pp.117-124, 1991.
- 3) 森地茂, 屋井鉄雄, 藤井卓, 竹内研一: 買回品の買物行動における商業地選択分析, 土木計画学研究・論文集, pp.27-34, 1984.
- 4) 兵藤哲朗, 高橋洋二, 岸井隆幸, 久保田尚, 安田勇作: 選択肢集合の形成確率を考慮した商業・業務地の駐車場選択行動に関する分析, 第36回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.673-678, 2001.
- 5) Horowitz, J.L. and Louviere, J.J.: What is the role of consideration sets in choice modeling? International Journal of Research in Marketing, 12, 39-54, 1995.
- 6) Zhang, J., Timmermans, H., Borgers, A. and Wang D. (2004) Modeling traveler choice behavior using the concepts of relative utility and relative interest. Transportation Research Part B, 38, 215-234.