

# マーケティング分野におけるベイズ推定モデルに関する基礎的研究\*

## A Preliminary Study on Bayesian Marketing Models\*

稲田有香\*\*・室町泰徳\*\*\*

By Yuka INADA\*\*・Yasunori MUROMACHI\*\*\*

### 1. はじめに

シミュレーション法の進展により Mixed Logit (MNL) モデルを中心とした柔軟な構造を持つ行動モデルの構築が可能となった。我が国でも、経路選択モデル<sup>1)2)</sup>、手段選択モデル<sup>2)</sup>、航空利用のスケジューリングモデル<sup>3)</sup>などいくつかのMXL適用例が示されており、その成果は行動モデルに関する著書<sup>4)5)</sup>にも紹介されている。海外においても、MXL適用例のレビュー<sup>6)</sup>が示され、選択肢間の誤差相関、個人間の誤差相関、パラメータの確率変動に関して、きめの細かな検討が可能状況を迎えていると考えられる。

Train<sup>7)</sup>によれば、ベイズ推定法はシミュレーション法に対する代替推定法の一つとされている。ベイズ推定法をシミュレーション法の一つと捉える場合もあるようであるが、ベイズ推定法は尤度関数の最大化を行う必要が無く、推定値の統計的な性質が良好であるという特徴がある。ベイズ推定モデルの概念自体は新しいものではないため、本論文では、事前事後確率密度、尤度関数など基本的な推定法の説明は他書に譲る<sup>8)</sup>。交通計画分野では、例えば、複数データの統合による交通需要モデルの推定方法<sup>9)</sup>などに適用されている。また、マルコフ連鎖モンテカルロ法によるベイズ推定法の適用には、我が国では、目的地点の選択行動<sup>10)</sup>、地価モデルの推定<sup>11)</sup>などの例があり、海外では、外科医の勤務地選択行動<sup>12)</sup>、エネルギー供給選択行動<sup>7)</sup>などの例がある。交通計画分野などにおける適用例<sup>13)</sup>と共に、マーケティング分野における適用例も少なくない。

こうした背景を踏まえ、本研究では主にマーケティング分野においてベイズ推定モデルの適用事例をレビュ

ーし、交通計画分野への示唆を得ることを主な目的としている。例えば、中心市街地活性化の問題が議論されて久しいが、中心市街地の商業地域に対する買物行動などに対するベイズ推定モデルの適用はほとんど無い。しかし、圧倒的な規模を持つ郊外ショッピングセンターに対して、中心市街地の商業地域が何らかの競争力を得るためには、きめの細かなマーケティングが必要となる。その際、ベイズ推定モデルを利用したマーケティングモデルの有用性は小さくないと考えられる。

本研究では、まず、マーケティング分野におけるベイズ推定モデルの適用例をレビューし、その特徴を検討する。次に、ベイズ推定モデルの典型的な適用例として、Kim et al.<sup>14)</sup>などにより提案されている複数選択を許容した離散連続モデルを取り上げ、その概要を示す。提案されているモデルは、複数の選択肢に対する複数の選択を許容した上で、選択された選択肢に対する利用量をモデル化するもので、応用範囲の広いモデルと考えられる。最後に、ベイズ推定モデルの交通計画分野に対する示唆を簡単にまとめる。

### 2. 既存研究のレビュー

Rossi and Allenby<sup>15)</sup>はマーケティング分野におけるベイズ統計学の適用についての包括的なレビューを与えている。彼らは、ベイズ推定法の適用についての展望を述べているが、その根底にあるのは「消費者の製品に対する選好は異なり、また企業はこのことをしっかりと考慮に入れ、マーケティング活動を行わなくてはならない」という概念である。その概念を軸に、レビューは、以下の3つの要素に沿って行われている。

ベイズ推定法の基本的な考え方

個人間異質性の取り扱い

損失関数を含む意思決定問題

本研究では、ベイズ推定法により、主に個人間異質性をどう取り扱うについて、彼らの見解を参考に、ベイズ推定法を用いた既存研究のレビューを進める。

マーケティング分野においても、個人の選択についての意思決定は中心的な関心事である。結局、選択とは、

\*キーワード：マーケティング、ベイズ推定法

\*\*学生員、工学、東京工業大学大学院総合理工学研究科

(神奈川県横浜市緑区長津田町4259、  
TEL045-924-5606、FAX045-924-5574)

\*\*\*正員、工博、東京工業大学大学院総合理工学研究科

(神奈川県横浜市緑区長津田町4259、  
TEL045-924-5606、FAX045-924-5574)

買物場所で消費者が選択肢の中から選ぶ時にとる行動である。よって、個人間の異質性を考慮したアプローチが必要となる。Jen et al.<sup>16)</sup> は、ポアソン尤度とガンマミックス分布を融合させた購買頻度に関する階層ベイズモデルを検討した。化粧品などを扱う企業からの個人の購買頻度に関するデータを用いた推定結果から、同じ購買頻度の個人間でも、異なるパラメータが推定されることを示した。このモデルは非観測の個人間の異質性を考慮したものである。Lenk et al.<sup>17)</sup> は、コンジョイント分析における階層ベイズモデルにおいて、individual design matrices がフルランクである必要がないために、被験者一人に対するプロファイルの数が少なくてもよいという事を確かめている。パーソナルコンピュータの選択に関するデータを用い、full profile design に対する被験者の回答を、確率的に消去していく実験を行った。その結果、階層ベイズモデルは、異質性と個人レベルでの部分効用を再現できることが分かった。Liechty et al.<sup>18)</sup> は、人工的なデータを用い、個人間の異質性だけでなく時間による異質性も同時に考慮できるモデルを考案している。Yang et al.<sup>19)</sup> は、個人間の異質性と同時に、個人内の異質性についての検討を行った。ビールの購買に関するデータを用い、ブランド選好に対する客観的環境とモチベーションの影響による個人内変動についての検討を行っている。

カテゴリー間での異質性について議論している研究も数多くある。Ainslie et al.<sup>20)</sup> は、マーケティングミックス変数に対する感受性が消費者の習性であるならカテゴリー間で感受性の類似性があるはずだ、という見解から、マルチカテゴリーにおけるマーケティングミックスの感受性における観測可能な異質性と観測不可能な異質性の分散を測定した。5種類の非耐久消費財のカテゴリーに関する購買データから、感受性についての十分に有効な相関結果を得た。また、Steeharama et al.<sup>21)</sup> は、あるカテゴリーでの状態依存性が他のカテゴリーで保存されるのかを検討するため、状態依存性の効果を考慮したマルチカテゴリー確率論的なブランド選択モデルを提案した。5種類の非耐久消費財のカテゴリーに関する購買データから、カテゴリー間での家計の状態依存性の度合いは類似していることが分かった。Manchanda et al.<sup>22)</sup> は、マルチカテゴリー選択を引き起こす、補完・共起・異質性（観測・非観測）の3つの要因を組み込んだ分析フレームワークを検討した。対象として、モデルの特徴を反映した相互関連性のある4種類の食品カテゴリーを選択し、それらの同時複数購買データを用いた。推定結果により、補完については、あるカテゴリーでの価格やプロモーションの変化は、関連カテゴリーの購買発生率に影響を与えることが分かった。また、共起については、コントロール不可能・観測不可能な要因か

ら生じる、カテゴリー同士の関連性の度合いを確認できた。そして、異質性については、家計の構成人数のような、観測可能な人口統計要因は、固有のカテゴリーに対する家計の選好に影響を与えていた。また、家計の価格反応性は、カテゴリー間で強い相関はなかった。

マーケティング活動において、ターゲットのセグメント化をしっかりと行うことが必要であるが、セグメントを設定する際には、異質性を必ず考慮しなくてはならない。Hofstede et al.<sup>23)</sup> は、ターゲットが世界である場合、国境や政治的境界を用いたセグメント化では不十分であるという認識から、セグメント設定のための空間的な異質性の特定化を行っている。

次章でも触れるが、複数の選択肢に対する複数の選択を許容した選択モデルの検討も近年比較的多くなっている。複数選択を考慮するためには、複雑なモデルを用いなくてはならず、推定する際の計算が煩雑である。しかし、ベイズ推定法を用いることで、この問題を解決することが出来る。Bradlow et al.<sup>24)</sup> は、個人レベルのパラメータを計算するためのアプローチを提案し、種類選択についての効用モデルを検討している。また、n 選択肢から k 選択肢を選択するケースについてのモデルを提案している。Liechty et al.<sup>25)</sup> は、インターネット上で、消費者のニーズに合うように、製品やサービスをカスタマイズ出来る仕組みを消費者が使う際に生じる、メニューからの feature の同時複数選択について、コンジョイント分析を行っている。通常の選択ベースのコンジョイント分析との大きな違いは、同時複数選択であること、選択の仕方に制限がある（例えば、ある feature を選択しない場合は、選択できない feature がある）ことである。ベイズ推定法を用いると、この制限に対処することが可能となる。Allenby et al.<sup>26)</sup> は、数量割引と離散的な数量選択を考慮したモデルを考案した上で、メーカー3社のビールの購買についてのデータに適用し、個人レベルでのパラメータを推定している。Arora et al.<sup>27)</sup> は、離散連続需要を考慮したモデルを考案している。野菜スープの購買が、まず、ブランド選択（離散量）、次に、数量選択（連続量）というステップで行われると仮定し、購買データを基にモデルの推定を行っている。

### 3. 複数選択を許容した離散連続モデルの概要

交通手段選択のような場合では、個人は複数の選択肢の中から「自らの効用を最大化する1つの選択肢を選択する」という効用最大化行動の状況を想定しやすく、通常の離散選択モデルを適用しやすい。また、エネルギー供給選択のような場合では、個人は電気、ガスなどの選択肢の中から「1つの選択肢を選択し、同時にその利用

量を選択する」という離散連続モデルが適用できる<sup>28)</sup>。しかし、休日の活動選択のような場合、個人は様々な活動種類の中から「複数の選択肢を選択し、同時にそれらの利用量（活動時間）を選択する」と考えられる場面も少なくない。例えば、買物行動は多くの場合、複数の商品を複数購入する行動と考えられよう。

複数の選択肢に対する複数の選択を許容する試みは、選択肢の組み合わせを1つの選択肢と仮定するなどにより成されてきた。しかし、選択された選択肢に対する利用量を同時にモデル化する試みは、あまり多くは成されてこなかったと考えられる。Kim et al.<sup>14)</sup>により提案されているモデルは図1のようにまとめられる。具体的にはヨーグルトの種類と購入量の選択を対象としている。まず、効用関数は各ヨーグルトの購入量を変数として含む直接効用関数であり、予算制約式の下で最大化される。各ヨーグルトの種類  $j$  の購入量には飽和パラメータ  $\alpha_j$  が設定されており、限界効用の逓減 ( $0 < \alpha_j < 1$ ) が仮定されている。また、基本パラメータ  $\psi_j$  は、各ヨーグルトの種類  $j$  の単位効用を定めるものである。個人と商品の属性の関数として与えられ、 $\psi_j > 0$  の制約条件がつく。

また、特定のヨーグルトの種類のみを購入する場合（端点解）、複数のヨーグルトの種類を購入する場合（内点解）、いずれの場合も表現できるという特徴がある。前者の場合、かつ、 $\alpha_j = 1$  の場合、通常の離散選択モデル、あるいは（1つの選択肢が選択される）離散連続モデルに帰着する。図2は予算制約の下で、端点解、内点解を与える場合を表したものである。パラメータ推定は、図1の予算制約式の下で効用関数を最大化するKuhn-Tucker条件を導き、特定の選択肢を基に基準化した上で、誤差項に多変量正規分布を仮定したマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いている。

類似したモデルは交通計画分野においても提案されている。Bhat, C.R.<sup>29)</sup>は、ほぼ同様な効用関数を、休日の活動種類と活動時間の選択行動に対して適用している。Bhat, C.R.のモデルは、予め第1活動を基準としている点に特徴がある。また、Bhat, C.R.は、提案された効用関数のパラメータがいくつかの仮定の下、通常の最尤法あるいは特定のパラメータをランダム化する場合はシミュレーション法、で推定することが可能であることを示した。ただし、この場合は、ベイズ推定法と比較して個人間の異質性の取り扱いには限定的となるであろう。Bhat, C.R.は、さらに提案モデルを複数離散連続極値モデル (Multiple Discrete-Continuous Extreme Value Model (MDCEV)) と名付け、詳細に分類された活動種類の選択行動をネストロジットモデルとして下位に含んだモデル<sup>30)</sup>、車種と利用量の選択行動モデル<sup>31)</sup>としての適用を試みている。

$$U(x) = \sum_j \psi_j (x_j + \gamma_j)^{\alpha_j}$$

$$st \quad \sum_j p_j x_j = E$$

$x$  : 商品種類の購入量ベクトル  $j$   
 $E$  : 予算制約  
 $x_j$  : 商品種類  $j$  の購入量  
 $p_j$  : 商品種類  $j$  の価格  
 $\psi_j$  : 商品種類  $j$  の基本パラメータ ( $\psi_j > 0$ )  
 $\gamma_j$  : 商品種類  $j$  の位置パラメータ  
 $\alpha_j$  : 商品種類  $j$  の飽和パラメータ ( $0 < \alpha_j < 1$ )

図1 複数選択を許容した離散連続モデルの効用関数

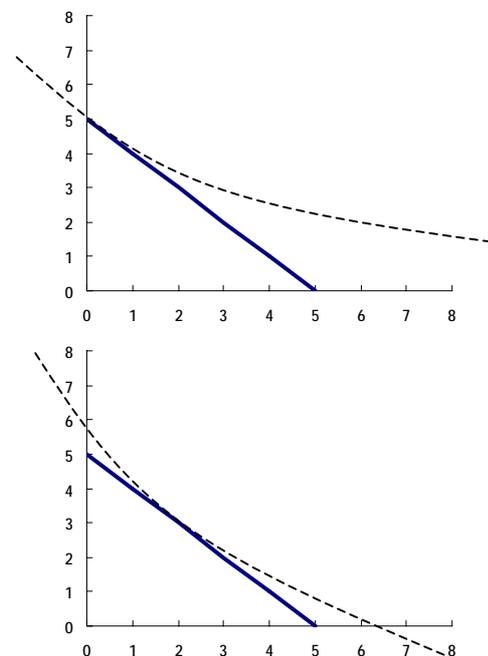


図2 効用最大化の端点解（上）と内点解（下）

#### 4. おわりに

本研究では、まず、マーケティング分野におけるベイズ推定モデルの適用例をレビューし、その特徴を検討した。また、ベイズ推定モデルの典型的な適用例として、複数選択を許容した離散連続モデルを取り上げ、その概要を示した。提案されているモデルは、複数の選択肢に対する複数の選択を許容した上で、選択された選択肢に対する利用量をモデル化するもので、応用範囲の広いモデルと考えられる。マーケティング分野においては、個人間異質性（時には個人内の異質性）など個人行動に対するきめの細かな検討が必要とされ、このことがベイズ推定法を要求している一面がある。交通計画分野におい

ても同様な必要性を生じる場面は多々あると考えられる。また、複数の商品を複数購入する行動を典型的な買物行動と考えるならば、これを表現するモデルは複雑となる可能性が高く、ベイズ推定法の利点が活かされる場面が多くなるであろう。

#### 参考文献

- 1) 清水哲夫・屋井鉄雄：Mixed Logit Model とプロビットモデルの推定特性に関する比較分析、土木計画学研究・論文集、16、pp.587-590、1999
- 2) 兵藤哲朗・章翔：Mixed Logit モデルの汎用性に着目し特性比較分析、土木学会論文集、660/IV-49、pp.89-99、2000
- 3) 石川智之・藤原章正・杉恵頼寧・李百鎮：不確実性を考慮した航空移動スケジュール決定行動モデルの構築、土木計画学研究・論文集、20、pp.509-514、2003
- 4) 北村隆一・森川高行・佐々木邦明・藤井聡・山本俊行、交通行動の分析とモデリング、技報堂出版、2002
- 5) 交通工学研究会：やさしい非集計分析、丸善、2003
- 6) Hensher, D.A. and Greene, W.H.: The Mixed Logit model: The state of practice, Transportation, 30, pp.133-176, 2003
- 7) Train, K.: Discrete choice methods with simulation, Cambridge, 2003
- 8) 繁樹算男：ベイズ統計入門、東京大学出版会、1985
- 9) 屋井鉄雄・森地茂・魚谷憲：複数データの統合による交通需要モデルの推定方法、土木学会論文集、470/IV-20、pp.125-133、1993
- 10) 北村菊池輝・藤井聡・北村隆一：座標システムを導入した生活行動シミュレーションによる交通政策評価、都市計画論文集、36、pp.577-582、2001
- 11) 古谷知之：ベイズ地理的加重帰帰モデルの地価モデル推定への適用、都市計画論文集、39-3、pp.787-792、2004
- 12) Bolduc, D., Fortin, B., and Gordon, S.: Multinomial probit estimation of spatially interdependent choices: An empirical comparison of two new techniques, International Regional Science Review, 20(1&2), pp.77-101, 1997
- 13) Brownstone, D.: Discrete choice modeling for transportation, In D. Hensher, ed., Travel behavior research: The leading edge, pp.97-124, Elsevier, 2001
- 14) Kim, J., Allenby, G.M. and Rossi, P.E.: Modeling consumer demand for variety, Marketing Science, 21, pp.229-250, 2002
- 15) Rossi, P.E. and Allenby, G.M. : Bayesian statistics and marketing, Marketing Science, 22, pp.304-328, 2003
- 16) Jen, L., Chou, C. and Allenby, G.M. : A Bayesian approach to modeling purchase frequency, Marketing Letter, 14, pp.5-20, 2003
- 17) Lenk, P.J., DeSarbo, W.S., Green, P.E., and Young, M.R. : Hierarchical Bayes conjoint analysis; Recovery of partworth heterogeneity from reduced experimental designs, Marketing Science, 15, pp.173-191, 1996
- 18) Liechty, J.C., Fong, D.K.H. and DeSarbo, W.S. : Dynamic models incorporating individual heterogeneity utility evolution in conjoint analysis, Management science, 51, pp.932-947, 2005
- 19) Yang, S., Allenby, G.M. and Fennell, G. : Modeling variation in brand preference: The roles of objective environment and motivating conditions, Marketing Science, 21, pp.14-31, 2002
- 20) Ainslie, A. and Rossi, P.E. : Similarities in choice behavior across product categories, Marketing Science, 17, pp.91-106, 1998
- 21) Steeharaman, P.B. and Ainslie, A. : Investigating household state dependence effects across categories, Journal of Marketing Research, 36, pp.488-500, 1999
- 22) Manchanda, P., Ansari, A. and Gupta, S. : The shopping basket: A model for multicategory purchase incidence decision, Marketing Science, 18, pp.95-114, 1999
- 23) Hofstede, F.T., Wedel, M. and Steenkamp, J.E.M. : Identifying spatial segments in international markets, Marketing Science, 21, pp.160-177, 2002
- 24) Bradlow, E.T. and Rao, V.R. : A hierarchical Bayes model for assortment choice, Journal of Marketing Research, 37, pp.259-268, 2000
- 25) Liechty, J., Ramaswamy, V. and Cohen, S.H. : Choice menus for mass customization: An experimental approach for analyzing customer demand with an application to a Web-based information service, Journal of Marketing Research, 38, pp.183-196, 2001
- 26) Allenby, G.M., Shively, T.S., Yang, S. and Garratt, M.J. : A choice model for packaged goods dealing with discrete quantities and quantity Discounts, Marketing Science, 23, pp.95-108, 2004
- 27) Arora, N., Allenby, G.M. and Ginter, J.L. : A hierarchical Bayes model of primary and secondary demand, Marketing Science, 17, pp.29-44, 1998
- 28) Dubin, J.A. and McFadden, D.L.: An econometric analysis of residential electric appliance holdings and consumption, Econometrica, 52(2), pp.345-362, 1984
- 29) Bhat, C.R.: A multiple discrete-continuous extreme value model: Formulation and application to discretionary time-use decisions, Transportation Research, B39, pp.679-707, 2005
- 30) Bhat, C.R., Srinivasan, S. and Sen, S.: A joint model for the perfect and imperfect substitute goods case: Application to activity time-use decisions, Transportation Research, B(forthcoming)
- 31) Bhat, C.R. and Sen, S.: Household vehicle type holdings and usage: An application of the multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) model, Transportation Research, B40, pp. 35-53, 2006