

Logit-Weibitハイブリッドモデルを用いた高速転換率モデルの推定に関する研究

岐阜大学 学生会員 ○井戸 聖

岐阜大学 正会員 倉内文孝

1. はじめに

近年道路ネットワークの有効活用がますます重要となっており、都市高速道路を例にとってみれば、その利用を決定づける要因を明らかにすること、特に高速道路の利用に関する料金、時間と利用率の関係を精度よく推定することが重要である。高速道路と一般道路との分担関係を推定する方法として、松井・藤田¹⁾は、高速道路転換率を生内化した利用者均衡配分モデルを提案している。このモデルでは、高速転換率式にロジットモデルを適用しているが、一方で経路コストに対する感度は距離に依存していることが明らかとなっており、ロジットモデルの分散パラメータおよび固有ダミー変数を距離の関数として補正する方法を提案している。また、近年同様のモデルを用い、平成17年度道路交通センサスOD調査データを用い、名古屋高速道路に対してパラメータ推定を行った結果、高い精度での再現性が確保できることが明らかとなっている²⁾。

一方、ETCデータの普及とともに、アンケート調査ではなく直接利用の履歴を知ることが可能となった。そのため、ETCの利用履歴を集計したETC統計データを活用することで、精度よく高速転換率式を推定できる可能性があると考えられる。また、高速転換率式は一般化費用に対する分散パラメータを変更することで距離帯ごとの感度を表現しているが、本来ロジットモデルは同一の費用差における感度は同一であることを仮定したモデルであり、その分散パラメータが距離帯により変化することの意味づけは困難であると考えられる。

本研究においては、一般化費用差に対し均一な感度を有するLogitモデルと、一般化費用比に対して均一な感度を有するWeibitモデルを混合するハイブリッドモデルの活用を考える。ETC統計データを用いて推定した結果を報告する。

2. Logit-Weibitハイブリッドモデル

利用者は高速道路の利用料金と、それによって得られる所要時間短縮を比較し、高速利用選択を行うものと仮定する。そのため、ETC統計データを元にODラン

グ間交通量を用い、利用者の行動を高速/一般道路による離散選択モデルで表現することとする。まず、交通の分野において一般的であり、かつ松井・藤田¹⁾モデルにおいても活用されているLogitモデルを式(1)に示す。

$$P_h^w = \frac{\exp(\theta V_h^w)}{\exp(\theta V_h^w) + \exp(\theta V_s^w)} = \frac{1}{1 + \exp(\theta(V_s^w - V_h^w))} \quad (1)$$

ただし、 P_h^w : ODペア w の高速道路選択確率、 V_h^w : 高速道路に関する一般化費用、 V_s^w : 平面街路に関する一般化費用、 θ : 分散パラメータ、である。このモデルの欠点として、2つの経路を比較する際、効用の大小に関わらず効用の絶対差が等しい場合には選択確率が同値を示すことにある。つまり、平面街路と高速道路の所要時間が120分と110分である場合と、20分と10分である場合には、選択確率が同一になる。これに対し、前述の通り実際の観測では距離が長くなればその感度が小さくなる、すなわち選択確率の差が小さくなることが経験的に知られており、それを一般的なロジットモデルでは表現できない。

次に、Weibitモデル³⁾ (2)式)による選択確率を以下に示す。Weibitモデルは、我が国において古くから活用されている時間比配分モデル⁴⁾を乗数 γ により一般化したものと解釈できる。

$$P_h^w = \frac{(-V_h^w)^{-\gamma}}{(-V_h^w)^{-\gamma} + (-V_s^w)^{-\gamma}} = \frac{1}{1 + (V_s^w/V_h^w)^{-\gamma}} \quad (2)$$

Weibitモデルは、走行時間の短い経路ほど選択確率が高くなる傾向をもつ。このモデルは効用の絶対差が等しい場合でも選択確率の区別が可能であるが、Kitthamkesorn and Chen⁵⁾は、効用に対して任意の乗数を考慮できない独自の制限があることを指摘している。以上よりLogitモデル、Weibitモデルにはそれぞれ欠点が存在するため、ここではXiangdong⁶⁾らが提案した両モデルを組み合わせた拡張型モデル(Logit-Weibitハイブリッドモデル)を用いることで、双方の離散選択モデルの欠点を軽減した選択確率(3)式を構築する。

$$P_h^w = \frac{\exp(\theta V_h^w)(-V_h^w)^{-\gamma}}{\exp(\theta V_h^w)(-V_h^w)^{-\gamma} + \exp(\theta V_s^w)(-V_s^w)^{-\gamma}} \quad (3)$$

3. 効用関数とパラメータ推定法

3.1 効用関数

本研究では、一般的な高速転換率式と同様所要時間と費用により高速道路利用を決定しているものとする。すなわち、効用関数の確定項は以下のように記述する。

$$V_h = \alpha t_h + \beta c_h, V_s = \alpha t_s \quad (4)$$

ここで、 t_h , t_s : それぞれ高速道路, 平面街路の所要時間, c_h : 高速道路の料金である。また, 式(3), (4)より推定すべきパラメータは α , β , γ , θ である。

3.2 利用データ

本研究では、ETC 統計データを活用することとした。なお、本来上記のモデルを推定するには平面街路を選択したデータも必要であるが、それを得ることは困難である。そのため、ここでは都市高速道路における料金改定前後の交通量を用いることとする。今、料金改定前後のあるランプ間 OD ペア w 間の交通量をそれぞれ x_{wb} , x_{wa} (b は料金改定前, a は料金改定後を示す), 潜在的なランプ間 OD ペア w 間の交通量を料金改定前後で変化のないものとし, x_{ws} とすると, 料金改定前後の高速道路選択率は、以下の通りとなる。

$$P_{wb} = x_{wb}/x_{ws}, P_{wa} = x_{wa}/x_{ws}, \quad (5)$$

このとき、これらの確率の比をとり、かつ対数をとると次のように記述できる。

$$\ln\left(\frac{P_{wb}}{P_{wa}}\right) = \ln\left(\frac{x_{wb}/x_{ws}}{x_{wa}/x_{ws}}\right) = \theta(V_{wb} - V_{wa}) - \gamma \ln\left(\frac{V_{wb}}{V_{wa}}\right) + \ln\left[\frac{\exp\{\theta V_{wa} - \gamma \ln(-V_{wa})\} + \exp\{\theta V_{ws} - \gamma \ln(-V_{ws})\}}{\exp\{\theta V_{wb} - \gamma \ln(-V_{wb})\} + \exp\{\theta V_{ws} - \gamma \ln(-V_{ws})\}}\right] \quad (6)$$

ただし、 V_{wb} : 料金改定前のランプ間 OD ペア w の高速利用時の効用確定項 ($= \alpha t_{wb} + \beta c_{wb}$) ($b \rightarrow a$ ならば料金改定後), V_{ws} : ランプ間 OD ペア w の平面街路利用時の効用確定項 ($= \alpha t_{wb}$) である。

式(6)について、すべての OD ペア, すべての時間帯 (1 時間を時間帯区分とする) に対して最も当てはまりのよいパラメータを推定するために、最小自乗法を用いることとする。さらに、本研究では、ETC 統計データのデータ特性から、クラスター分析により OD 交通量を「サンデードライバー」, 「商用利用者」, 「通勤利用者」, 「運送利用者」の 4 者に分類し、それぞれのグループについて異なるパラメータを推定することとする。すなわち、目的関数は以下の通りとなる。なお、未知パラメータ θ^g は外生的に 1 を与えている。

$$\min \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} \sum_{w \in W} \left(\ln\left(\frac{x_{wb,t}^g}{x_{wa,t}^g}\right) - \theta^g \{ \alpha^g (t_{wb,t}^g - t_{wa,t}^g) + \beta^g (c_{wb,t}^g - c_{wa,t}^g) \} + \gamma^g \ln\left(\frac{V_{wb,t}^g}{V_{wa,t}^g}\right) - \ln\left[\frac{\exp\{\theta^g V_{wa,t}^g - \gamma^g \ln(-V_{wa,t}^g)\} + \exp\{\theta^g V_{ws,t}^g - \gamma^g \ln(-V_{ws,t}^g)\}}{\exp\{\theta^g V_{wb,t}^g - \gamma^g \ln(-V_{wb,t}^g)\} + \exp\{\theta^g V_{ws,t}^g - \gamma^g \ln(-V_{ws,t}^g)\}}\right] \right)^2 \quad (7)$$

ただし、 g は利用者グループ, t は時間帯を表す添え字である。式(7)は非常に複雑な式であり、そのまま解くことは容易ではない。そのため、第 4 項および第 5 項について初期値を与え、繰り返し計算によりパラメータを推定することとした。

4. おわりに

本研究では、Logit-Weibit ハイブリッドモデルを用いた高速転換率モデルの構築を行った。また、クラスター分析に基づく利用者グループごとにパラメータを推定することを提案した。モデル推定結果に関しては、講演時に報告する。また、このモデルを用い、今後高速道路転換率を生内化した利用者均衡配分モデルの構築を進める予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、阪神高速道路株式会社より ETC 統計データを提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 松井寛, 藤田素弘: 高速道路を含む都市圏道路網における利用者均衡配分の実用化に関する研究, 土木学会論文集, No. 653/IV-48, 85-94, 2000.
- 2) 荒巻景介ら: 名古屋高速道路における高速転換率内生利用者均衡配分モデルの適用検討, 土木計画学研究・講演集, 40, CD-ROM, 2009.
- 3) Castillo, E. et al.: Closed form expressions for choice probabilities in the Weibull case, Transportation Research, 42B, 373-80, 2008.
- 4) 飯田恭敬: 交通量による影響を考慮した時間比交通量配分, 高速道路と自動車, 13(5), 23-32, 1970.
- 5) Kitthamkesorn, S and Chen, A.: Unconstrained Weibit stochastic user equilibrium model with extensions Transportation Research, 59B, 1-21, 2014.
- 6) Xu, X., Chen, A., Kitthamkesorn, S., Yang, H. and Lo, H.K.: Modeling absolute and relative cost differences in stochastic user equilibrium problem, Transportation Research, 81B, 686-703, 2015.