

古典的消費者行動モデルによる便益計測手法の比較研究^{*1}

The Comparison of Benefit Evaluation Methods with the Classical Consumer's Behavior Model

上田孝行^{*2}, 小森俊文^{*3}, 森杉壽芳^{*4}

By Takayuki UEDA, Toshifumi KOMORI, and Hisayoshi MORISUGI

1. はじめに

交通改善評価を行う際の交通需要予測において、ロジットモデルに代表される離散選択モデルを用いる場合には、次のような問題点がある。第一に、総交通需要量がモデルの構造と整合しない方法で外生的に与えられているため、交通整備による誘発需要量を考慮できない点、第二に、交通以外の財との需要の相互依存性が無視されている点である。そこで、上記の問題点を克服するために、古典的消費者行動理論に基づいた新しい交通需要予測モデルが、Morisugi, Ueda, Le¹⁾によって提案されている。このモデルは、需要シェアが従来のロジットモデルと同様の形式であり、さらに総交通需要量が内生化されている。従来のロジットモデルのテクニックを活かしながら、交通サービスの価格・質の変化あるいは交通以外の財のそれらの変化によって総交通需要量が変化することを表現できる。さらに、森杉²⁾らはこのモデルの地域間旅客需要予測への適用を試みているが、時間制約までは考慮していなかった。

また、交通改善に伴う便益計測手法として消費者余剰分析が広く用いられているが、この手法では間接効果が考慮されていないという批判がある。この批判に答えるべく、厚生経済学の分野では等価的偏差 EV による便益計測理論が展開されている。しかし、この理論には効用関数の特定化など困難な作業がつきまとう。それに対して、交通需要に着目した簡便法として Marshall-Dupuit 型消費者余剰（以下、MD）による計測が実務的には多用されている。先に挙げた交通需要予測の問題点は、このような消費者余剰分析による便益計測にも直接的に問題を引き起こす。

そこで本研究では、初めに古典的消費者行動理論に基づき、時間制約も考慮した交通需要予測モデルを示す。次に、それを地域間交通需要予測へ適用するための拡張を行う。具体的には、目的地別の需要シェアと交通機関別シェアを従来のネスティッドロジットモデルを拡張した形式で表現し、かつ、総交通需要が交通以外の財需要と整合するモデルを提示する。次に、幹線旅客純流動等の実データを用いてモデルのパラメータ推定を行う。その上で、第一に、①交通需要の所得弾力性、②交通需要の自己価格弾力性、③交通需要と

合成財の交差価格弾力性について分析し、古典的消費者行動理論に基づいて所得や合成財を明示することの Relevance について調べる。第二に、交通改善に伴う便益について、④総交通需要を可変(誘発需要を考慮)した場合の消費者余剰 MD と等価的偏差 EV で計測した場合の比較、⑤総交通需要、目的地別交通需要を固定した場合の MD と①での比較を行う。④は Willig(1976)で MD が EV(または CV)の十分な近似になり得るとされている命題を実データによる解析事例で成り立つかどうかを確認するという意義を持つ。⑤は実務で多用される段階的なブレイクダウンによる需要予測の結果を MD に用いることがどの程度妥当性を持つかということを実証的に確認する意義がある。以上の各比較について既に一応の結果を得ているが、現在まだ精査中のものも有ることと本稿の紙面制限から、今回は⑤についての事例のみ掲載する。他の比較については講演時に報告することにした。

2. 古典的消費者行動による交通需要予測モデル

古典的消費者行動理論では、消費者が財あるいはサービスを消費することによって効用を満たす経済主体において、一定の所得制約および時間制約の下で効用が最大限に満たされるような組み合わせを選択するものと仮定している。そこでこの理論に基づいて、消費者の効用最大化問題を以下のように定式化する。

$$\begin{aligned} V(p) &= \max_x U(X_1, X_2, \dots, X_K, s) \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{k \in K} p_k X_k = w\Omega + \pi \\ &\sum_{k \in K} t_k X_k + l + s = \Omega \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $U(\cdot)$ ：直接効用関数、 $V(p)$ ：間接効用関数
 p ：価格ベクトル、 X ：財消費量ベクトル、 p_k ：財（あるいはサービス） k の価格、 X_k ：財 k に対する需要量、 $k \in K = \{1, \dots, K\}$ ：財の種類を表すラベル、 t_k ：財 k の消費に必要な時間、 w ：賃金率、 l ：労働時間、 π ：利潤配当所得、 s ：余暇時間、 Ω ：総利用可能時間である。式(1)の制約条件式を可処分所得 $w\Omega + \pi$ で基準化した価格を用いた式に書き直すと、以下のような。

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in K} q_k X_k + q_s s = 1 \quad (2.a)$$

$$\text{ただし、} \quad q_k = \frac{p_k + wt_k}{w\Omega + \pi}, \quad q_s = \frac{w}{w\Omega + \pi} \quad (2.b)$$

ここで、 q_k ：基準化された財 k の価格、 q_s ：基準化さ

*1 キーワード：交通行動分析、整備効果計測法

*2 正会員 工博 東京工業大学助教授 開発システム工学科
(東京都目黒区大岡山 2-12-1, TEL/FAX 03-5734-3597)

*3 正会員 工修 関日本能率協会総合研究所

*4 正会員 工博 東北大学大学院教授 情報科学研究科

れた余暇時間の価格である。

上の最大化問題を解き、解である需要関数を目的関数である効用関数に代入すると、式(3)のように各財の価格ベクトルの間接効用関数として表される。

$$V(\mathbf{q}) = U(X_1^*, X_2^*, \dots, X_K^*, s) \quad (3)$$

ここで、

$\mathbf{q}$: 基準化された価格ベクトル

また、ロワの恒等式により財 i に対する需要量は、式(4)のように変形できる。

$$X_i(\mathbf{q}) = -\frac{\frac{\partial V(\mathbf{q})}{\partial q_i}}{\sum_{k \in K} q_k \frac{\partial V(\mathbf{q})}{\partial q_k}} \quad \text{for all } i \in K \quad (4)$$

これを用いて、各交通サービスへの需要量は、総交通需要量と各サービスの需要シェアへの形式に分解できる。まず、交通サービスを意味する財のグループとそれへの総交通需要量を定義する。

$$N_J(\mathbf{q}) = \sum_{j \in J} X_j(\mathbf{q}) \quad \text{for all } j \in J = \{1, \dots, J\} \subset K = \{1, \dots, K\} \quad (5)$$

ここで、 $N_J(\mathbf{q})$: 総交通需要量、

$J = \{1, \dots, J\} \subset \{1, \dots, K\}$: 交通サービスを意味する財のラベルのグループである。

従来の交通需要分析のように総交通需要量を外生的に与えることと、導出されたモデルのように内生化するとの相違は次のように表現される。

$$\frac{\partial N_J}{\partial q_i} = 0 \quad \text{for all } i \in K \quad (\text{従来}) \quad (6.a)$$

$$\frac{\partial N_J}{\partial q_i} \neq 0 \quad \text{for all } i \in K \quad (\text{本モデル}) \quad (6.b)$$

グループに属する各財への需要量は、総交通需要量とグループ内での需要シェアの積として、次のように分解できる。

$$X_j = N_J(\mathbf{q}) \cdot x_j(\mathbf{q}) \quad \text{for all } j \in J \quad (7.a)$$

$$N_J(\mathbf{q}) = -\frac{\sum_{j \in J} \frac{\partial V(\mathbf{q})}{\partial q_j}}{\sum_{k \in K} q_k \frac{\partial V(\mathbf{q})}{\partial q_k}} \quad (7.b)$$

$$x_j(\mathbf{q}) = -\frac{\frac{\partial V(\mathbf{q})}{\partial q_j}}{\sum_{j \in J} \frac{\partial V(\mathbf{q})}{\partial q_j}} \quad \text{for all } j \in J \quad (7.c)$$

この結果、総交通需要量が内生的である特性に加えて、それが J に属する財（交通サービス）の属性だけでなく、 J 以外の財の属性の関数として表される。これによって、交通サービスの価格だけでなく、それ以外の財の価格が変化した場合の交通需要量の変化を分析できる。

3. ネスティッドロジットモデルの拡張形式

まず交通サービスを目的地別・交通機関別・経路別などに分類するために、次のようなサブグループを導入する。

$$\begin{aligned} d \in D &= \{1, \dots, D\} \\ j &= (m, d) \in M_d = \{(1, d), \dots, (M_d, d)\} \\ J &= \bigcup_{d \in D} M_d \end{aligned}$$

ここで、

$d \in D = \{1, \dots, D\}$: サブグループを表すラベル、

$j = (m, d) \in M_d = \{(1, d), \dots, (M_d, d)\}$: サブグループ M_d に含まれる財を表すラベル

次に間接効用関数 $V(\cdot)$ については、以下のように特定化する。

$$\begin{aligned} V(\mathbf{q}) &= \int_{q \rightarrow \infty} \left[\sum_{j \in J} \left(\frac{\partial G(y_1(f_1), \dots, y_J(f_J))}{\partial y_j} \cdot \frac{-dy_j(f_j)}{df_j} \right) df_j \right. \\ &\quad \left. + \sum_{k \in K} \left(-\frac{\partial W(q_H)}{\partial f_k} \right) df_k + \left(-\frac{\partial W(q_s)}{\partial f_s} \right) df_s \right] \\ &= G(y_1(q_1), \dots, y_J(q_J)) + \sum_{k \in K} W_k(q_H) + W_s(q_s) \end{aligned} \quad (8.a)$$

$$G(y_j) = \sum_{d \in D} \left(\sum_{j \in M_d} y_j \right)^\mu \quad (8.b)$$

$$y_j = \int_{q_j}^\infty \exp[-k_j(f_j)] df_j \quad (8.c)$$

ここで、 y_j : q_j の単調減少関数、 $W_k(\cdot)$: 交通サービスのグループ J 以外の財に依存した間接効用、 $W_s(\cdot)$: 余暇時間に依存した間接効用、 q_H : 交通サービスのグループ J 以外の財の価格ベクトル、

$H = \{1, \dots, H\} = K - J$: 交通サービス以外の財のラベルのグループ、 $k_j(\cdot)$: 交通サービス j に対する利用者の選好を表す関数、 μ : パラメータである。

ここで導入した $y_j(q_j)$ という関数は、個別の交通サービスの間接効用を示すものであり、価格だけでなく質的な要因を取り込むことができる。ここで、式(8.a)～(8.c)を式(7.c)に代入すると、交通サービス j に対する需要の交通サービスのグループ内でのシェア $x_j(\mathbf{q})$ は式(9.a)のように表される。また式(7.b)に代入すると、総交通需要量 $N_J(\mathbf{q})$ が得られる。

$$x_j(\mathbf{q}) = \frac{\left(\sum_{j \in M_d} y_j \right)^{\mu-1} \cdot \exp[-k_j(q_j)]}{\sum_{d \in D} \left\{ \left(\sum_{j \in M_d} y_j \right)^{\mu-1} \cdot \sum_{j \in M_d} \exp[-k_j(q_j)] \right\}} \quad (9.a)$$

$$N_j(\mathbf{q}) = \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_1 = \mu \sum_{d \in \mathbf{D}} \left\{ \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} y_{j'} \right)^{\mu-1} \right\} \quad (9.b)$$

$$n_2 = \mu \sum_{d \in \mathbf{D}} \left\{ \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} q_{j'} \cdot \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} y_{j'} \right)^{\mu-1} \right\} \\ + \sum_{h \in \mathbf{H}} q_h \cdot \frac{\partial W(q_h)}{\partial q_h} + q_s \cdot \frac{\partial W(q_s)}{\partial q_s}$$

式(9.a)は、さらにサブグループ d の需要シェア $x(d)$ と、それに含まれる財 m の需要シェア $x(m|d)$ の積の形に分解できる。ここで導出されたモデルは、需要シェアのネスティッドロジットモデルを拡張した形式であり、さらに総交通需要量が内生化された形である。

$$x_j(\mathbf{q}) = x(d, m) = x(m|d) \cdot x(d) \quad \text{for all } j \in \mathbf{J} \quad (10.a)$$

$$x(m|d) = \frac{\exp[-k_j(q_j)]}{\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})]} \quad (10.b)$$

$$x(d) = \frac{\left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} y_{j'} \right)^{\mu-1}}{\sum_{d \in \mathbf{D}} \left\{ \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} y_{j'} \right)^{\mu-1} \right\}} \\ = \frac{\exp \left\{ \ln \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) + (\mu-1) \ln \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} y_{j'} \right) \right\}}{\sum_{d \in \mathbf{D}} \exp \left\{ \ln \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) + (\mu-1) \ln \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} y_{j'} \right) \right\}} \\ \text{for all } d \in \mathbf{D} \quad (10.c)$$

4. 地域間旅客需要予測モデル

3. で導出されたモデルを地域間旅客需要予測モデルとして適用するために、次のようにいくつかの仮定を設ける。まず、余暇時間の実績値が全国的に見てほぼ一定なので、モデルにおいても余暇時間は外生的に全国共通に一定と仮定する。すなわち、24 時間から余暇時間と生理的必要活動への最低所要時間を差し引いたものをモデルでの総利用可能時間とし、その総利用可能時間は、労働と交通のみに使用できるものとする。また、交通サービス以外のすべての財については、合成財とし h で表すこととする。以上より、効用最大化問題は、以下のように定式化できる。

$$V(p_j + wt_j, p_h, w\Omega) = \max_{X_j, X_h} U(X_j, X_h) \\ \text{s.t. } \sum_j p_j X_j + p_h X_h = w\Omega \\ \sum_j t_j X_j + l = \Omega \quad (11)$$

交通サービスについては、モデルにおけるサブグループ d が目的地別の交通サービス、それに含まれる財 m がその目的地に行く際に利用可能な交通機関別のサービスと考える。関数については、地域間の一般化交通

費用と目的地人口の線形関数として、以下のように定式化する。

$$k_j(q_j, P_d) = \alpha q_j - \beta_j - \gamma P_d \quad (12)$$

ここで、 q_j : 地域間の一般化交通費用を所得で基準化したもの、 P_d : 目的地の人口、 α, β_j, γ : パラメータである。また、合成財消費に依存した間接効用については、以下のような関数を仮定する。

$$\frac{\partial W(q_h)}{\partial q_h} = \exp[-\delta q_h + \varepsilon] \quad (13)$$

ここで、 δ, ε : パラメータである。

式(12)、(13)を式(10.b)、(10.c)、(9.b)に代入すると以下のようになる。

$$x(m|d) = \frac{\exp[-\alpha q_j + \beta_j + \gamma P_d]}{\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_d]} \\ \text{for all } j = (m, d) \in \mathbf{J} \quad (14.a)$$

$$x(d) = \frac{\exp \left\{ \mu \ln \sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_d] \right\}}{\sum_{d \in \mathbf{D}} \exp \left\{ \mu \ln \sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_d] \right\}} \\ \text{for all } d \in \mathbf{D} \quad (14.b)$$

$$N_j(\mathbf{q}) = \frac{n_1}{n_2} \\ n_1 = \mu \sum_{d \in \mathbf{D}} \left\{ \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_d] \right) \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} y_{j'} \right)^{\mu-1} \right\} \\ n_2 = \mu \sum_{d \in \mathbf{D}} \left\{ \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} q_{j'} \cdot \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_d] \right) \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} y_{j'} \right)^{\mu-1} \right\} \\ + q_h \cdot \exp[-\delta q_h + \varepsilon] \quad (14.c)$$

ここで、

$x(m|d)$: 目的地 d 交通機関 m の需要シェア

$x(d)$: 目的地 d の需要シェア

5. パラメータ推定

旅客需要量は、平成 2 年度の「幹線旅客純流動調査」のうち、交通機関別都道府県間データを用いた。なお、都道府県内々の旅客需要量と首都圏、中京圏、近畿圏の三大都市圏内々の旅客需要量は対象外としているため、発地は 35 地域（埼玉・千葉・東京・神奈川・岐阜・愛知・三重・京都・大阪・奈良・兵庫以外の地域）、着地は 47 地域となる。交通機関は、航空・鉄道・自動車とし、交通サービス価格および時間は、各都道府県の県庁所在都市間のデータ、合成財価格には県別消費者物価指数を所得で基準化したものを用いた。また、賃金率は各都道府県別に年間所得を労働時間で除した値とし、余暇時間は 10 時間、生理的必要活動への最低所要時間は 8 時間とした。以上のデータを用いてパラメータ推定を行った結果を表-1 に示す。

表-1 パラメータ推定結果

パラメータ	推定値	t 値	需要シェアの 相関係数
α	707.9	38.16	0.551
β_1 (航空)	0.111	0.955	
β_2 (鉄道)	0.063	0.549	
γ	5.749E-07	97.2	0.784
μ	0.561	209.6	

パラメータ	推定値	t 値	総交通需要量の 相関係数
δ	84347	4.489	0.615
ε	14.45	22.85	

推定されたパラメータを用いて、地域間の旅客需要量の現況再現を行うと、総交通需要量については推計値が実測値に対し倍あるいは半分といった過大・過小推計になる地域が出てくる。需要シェアについては、目的地人口を変数としているため東京へのシェアが過大となり、また交通サービスは、所要時間と費用のみを変数としているため近隣地域への自動車シェアが過小となる。このようにパラメータ値にいくつかの問題点は残され、それらの改良には引き続き取り組むものの、一応の現実的なパラメータとして捉え以下の便益計測に用いることとする。

6. 便益定義

①等価的偏差による便益定義

本モデルでは、式(8.a)の間接効用関数を用いて、等価的偏差 EV の概念に基づき便益を以下のように定義することができる。

$$V^b = \sum_{a \in A} \left(\sum_{j \in J} \frac{1}{\alpha} \exp \left(-\alpha \frac{p_{j^a} + w_{t_j^a}}{w\Omega + EV} + \beta_j + \gamma P_d \right) \right)^\mu + \frac{1}{\delta} \exp \left(-\delta \frac{p_h^a}{w\Omega + EV} + \varepsilon \right) \quad (15)$$

ここで、

スーパースクリプト a, b : プロジェクトなし, あり

②Marshall-Dupuit 型の消費者余剰による便益定義

消費者余剰 MD による便益は、以下のように定義することができる。

$$MD = \frac{1}{2} \sum_{a \in A} \sum_{j \in J} (X_j^a + X_j^b) \{ (p_j^a + w_{t_j^a}) - (p_j^b + w_{t_j^b}) \} \quad (16)$$

7. 交通改善に伴う便益計測

地域間の交通改善は、以下の3ケースを想定した。

Case1 : 関西空港へのアクセス整備により、滋賀県からの航空所要時間が30分短縮

Case2 : 関西-関東間の鉄道整備により滋賀県から東京都及びそれ以北の地域への鉄道所要時間が30分短縮

Case3 : 関西-関東間の高速道路整備により滋賀県から東京都及びそれ以北の地域への自動車所要時間が30分短縮

以上の交通改善に伴う滋賀県の年間総便益を MD および EV で計測した結果を表-2 に示す。

表-2 便益計測結果 (単位: 億円)

	EV	MD
Case1	40.446	40.427
Case2	27.922	27.925
Case3	10.037	10.047

8. おわりに

本稿では、従来の交通需要分析での問題点を克服した新しい交通需要予測モデルを用い、総交通需要が可変である場合について、消費者余剰 MD による便益計測手法の有効性を検討した結果を示した。示した事例は MD は EV にほぼ一致しており、取り上げたケースでは交通改善に伴う便益を MD で十分計測可能であることを示した。無論、使用した各パラメータは現実的なオーダーであるが、他の推定方法を試みて別の値を得てそれを使用したり、感度分析を行ってこの有用性がどの程度ラバストであるかを精査する必要がある。

また、本研究には以下のような課題も残されており、他の弾力性についての比較や総交通需要固定等のもとでの便益の比較に加えて、現在取り組んでいるところである。

①余暇時間を内生化したモデルの適用可能性の確認すること。

②合成財として表した交通以外の財を複数の財に細分化して、それらの財に対する需要関数も用いて効用関数に含まれる全てのパラメータを同時に推定する手法を開発すること。

③交通の目的を細分化して、観光レクリエーション交通のように、価格弾力性や所得弾力性が大きい交通需要に焦点を当てた分析を行うこと。

以上については成果が得られた段階で報告したいと考えている。

【参考文献】

- 1) Hisa MORISUGI, Taka UEDA, Le Dam HANH : A New Proposal for Travel Demand Forecasting in The Context of Classical Consumer Behavior Theory, presented at 7th WCTR, 1995.
- 2) 森杉壽芳, 上田孝行, 小池淳司, 小森俊文 : 古典的消費者行動に基づく交通行動モデルの地域間旅客需要予測への適用, 土木計画学研究・講演集, No. 19(1), pp. 451-454.
- 3) Willig, R.D.(1976), Consumer's Surplus without Apology, American Economic Review, Vol.66, 1976, pp.589-597