【土木計画学研究・論文集 No.17 2000年9月】

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 by 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, Le[1]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．そのため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，この手法では所得変化や交通以外の財についての価格変化が生じるときに便益の一意性が保たれ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．そのため，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 及び補償的偏差 CV 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④での比較を行う．④は Willig(1976)[3]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．

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．

$$
\begin{aligned}
V(\mathbf{p}) &= \max_{\mathbf{X}} U(X_1, X_2, \ldots\ldots, X_K, s) \\
s.t.\quad & \sum_{k\in\mathbf{K}} p_k X_k = wl + \pi \\
& \sum_{k\in\mathbf{K}} t_k X_k + l + s = \Omega
\end{aligned}
\tag{1}
$$

ここで，$U(\cdot)$：直接効用関数，$V(\mathbf{p})$：間接効用関数 $\mathbf{p}$：価格ベクトル，$\mathbf{X}$：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，$k \in \mathbf{K} = \{1,\ldots., K\}$：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

*1　ｷｰﾜｰﾄﾞ：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　㈱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

価格を用いた式に書き直すと，以下のようになる．

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

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

ここで，q_k ：基準化された財 k の価格，q_s ：基準化さ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．

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

ここで，$\mathbf{q}$ ：基準化された価格ベクトルである．

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．

$$X_i(\mathbf{q}) = \frac{\dfrac{\partial V(\mathbf{q})}{\partial q_i}}{\sum_{k\in\mathbf{K}} q_k \dfrac{\partial V(\mathbf{q})}{\partial q_k}} \qquad for\ all \qquad i\in\mathbf{K} \tag{4}$$

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．

$$N_{\mathbf{J}}(\mathbf{q}) = \sum_{j\in\mathbf{J}} X_j(\mathbf{q})$$

$$for\ all \qquad j\in\mathbf{J} = \{1,\ldots\ldots,J\} \subset \mathbf{K} = \{1,\ldots\ldots,K\} \tag{5}$$

ここで，$N_{\mathbf{J}}(\mathbf{q})$ ：総交通需要量，

$\mathbf{J} = \{1,\ldots\ldots,J\} \subset \{1,\ldots\ldots,K\}$ ：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ことの相違は次のように表現される．

$$\frac{\partial N_{\mathbf{J}}}{\partial q_i} = 0 \qquad for\ all \qquad i\in\mathbf{K}\ （従来） \tag{6.a}$$

$$\frac{\partial N_{\mathbf{J}}}{\partial q_i} \neq 0 \qquad for\ all \qquad i\in\mathbf{K}\ （本モデル） \tag{6.b}$$

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．

$$X_j = N_{\mathbf{J}}(\mathbf{q})\cdot x_j(\mathbf{q}) \qquad for\ all \qquad j\in\mathbf{J} \tag{7.a}$$

$$N_{\mathbf{J}}(\mathbf{q}) = \frac{\sum_{j'\in\mathbf{J}} \dfrac{\partial V(\mathbf{q})}{\partial q_{j'}}}{\sum_{k\in\mathbf{K}} q_k \cdot \dfrac{\partial V(\mathbf{q})}{\partial q_k}} \tag{7.b}$$

$$x_j(\mathbf{q}) = \frac{\dfrac{\partial V(\mathbf{q})}{\partial q_j}}{\sum_{j'\in\mathbf{J}} \dfrac{\partial V(\mathbf{q})}{\partial q_{j'}}} \qquad for\ all \qquad j\in\mathbf{J} \tag{7.c}$$

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 $\mathbf{J}$ に属する財（交通サービス）の属性だけでなく，$\mathbf{J}$ 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．

$$d\in\mathbf{D} = \{1,\ldots\ldots,D\}$$

$$j = (m,d)\in\mathbf{M}_d = \{(1,d),\ldots\ldots,(M_d,d)\}$$

$$\mathbf{J} = \bigcup_{d\in\mathbf{D}} \mathbf{M}_d$$

ここで，$d\in\mathbf{D} = \{1,\ldots\ldots,D\}$ ：サブグループを表すラベル，$j=(m,d)\in\mathbf{M}_d = \{(1,d),\ldots\ldots,(M_d,d)\}$ ：サブグループ $\mathbf{M}_d$ に含まれる財を表すラベルである．

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．

$$\begin{aligned}V(\mathbf{q}) = \oint_{q\to\infty} [&\sum_{j'\in\mathbf{J}} \left(\frac{\partial G\big(y_1(f_1),\ldots\ldots,y_J(f_J)\big)}{\partial y_{j'}} \cdot \frac{-dy_{j'}(f_{j'})}{df_{j'}} \right) df_{j'} \\ &+ \sum_{h\in\mathbf{H}} \left(-\frac{\partial W(q_{\mathbf{H}})}{\partial f_h} \right) df_h + \left(-\frac{\partial W(q_s)}{\partial f_s} \right) df_s] \\ = {}& G\big(y_1(q_1),\ldots\ldots,y_J(q_J)\big) + \sum_{h\in\mathbf{H}} W_h(q_{\mathbf{H}}) + W_s(q_s)\end{aligned} \tag{8.a}$$

$$G(y_j) = \sum_{d\in\mathbf{D}} \left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_d} y_{j'} \right)^{\mu} \tag{8.b}$$

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

ここで，y_j ：q_j の単調減少関数，$W_h(\cdot)$ ：交通サービスのグループ $\mathbf{J}$ 以外の財に依存した間接効用（$q_{\mathbf{H}}$ の単調減少関数），$q_{\mathbf{H}}$ ：交通サービスのグループ $\mathbf{J}$ 以外の財の基準化された価格ベクトル，$W_s(\cdot)$ ：余暇時間に依存した間接効用（q_s の単調減少関数），q_s ：基準化された余暇時間の価格，$\mathbf{H} = \{1,\ldots\ldots,H\} = \mathbf{K}-\mathbf{J}$ ：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 $N_{\mathbf{J}}(\mathbf{q})$ が得られる．

$$x_j(\mathbf{q}) = \frac{\left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} y_{j'}\right)^{\mu-1} \cdot \exp[-k_j(q_j)]}{\sum_{d' \in \mathbf{D}} \left\{ \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_{d'}} y_{j'}\right)^{\mu-1} \cdot \sum_{j' \in \mathbf{M}_{d'}} \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right\}} \tag{9.a}$$

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

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

$$n_2 = \mu \sum_{d' \in \mathbf{D}} \left\{ \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_{d'}} q_{j'} \cdot \exp[-k_{j'}(q_{j'})] \right) \left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_{d'}} y_{j'} \right)^{\mu-1} \right\} + \sum_{h \in \mathbf{H}} q_h \cdot \frac{\partial W(q_h)}{\partial q_h} + q_s \cdot \frac{\partial W(q_s)}{\partial q_s} \tag{9.b}$$

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 $x(m \mid d)$ の積の形に分解できる．ここで導出されたモデルは，需要シェアが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．

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

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

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

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．

$$V(p_{\mathbf{J}} + wt_{\mathbf{J}}, p_h, w\Omega) = \max_{X_{\mathbf{J}}, X_h} U(X_{\mathbf{J}}, X_h)$$
$$s.t. \quad \sum_{j \in \mathbf{J}} p_j X_j + p_h X_h = wl \tag{11}$$
$$\sum_{j \in \mathbf{J}} t_j X_j + l = \Omega$$

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．

$$k_j(q_j, P_d) = \alpha q_j - \beta_j - \gamma P_d + \ln \alpha \tag{12}$$

ここで，q_j ：地域間の一般化交通費用を県別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．

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

$$\frac{\partial W(q_h)}{\partial q_h} = e^{-\varepsilon} \cdot q_h^{-\delta} \tag{13.b}$$

ここで，δ, ε ：パラメータである．

式(12)を式(10.b)，(10.c)に代入すると，需要シェアは以下のようになる．

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

$$x(d) = \frac{\exp\left\{ \mu \ln \sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_d] + (2\mu-1) \ln \frac{1}{\alpha} \right\}}{\sum_{d' \in \mathbf{D}} \exp\left\{ \mu \ln \sum_{j' \in \mathbf{M}_{d'}} \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_{d'}] + (2\mu-1) \ln \frac{1}{\alpha} \right\}}$$
$$for\ all \quad d \in \mathbf{D} \tag{14.b}$$

ここで，$x(m \mid d)$ ：目的地 d 交通機関 m の需要シェア

$x(d)$：目的地 d の需要シェアである．

さらに，式(13.a)を式(9.b)に代入すると，総交通需要量は以下のようになる．（式の誘導は付録を参照）

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

$$n_1=\mu\cdot\left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu-1}\cdot\sum_{d'\in\mathbf{D}}\left\{\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}\exp[-\alpha q_{j'}+\beta_{j'}+\gamma P_{d'}]\right\}^{\mu}$$

$$n_2=\mu\cdot\left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu-1}\cdot\sum_{d'\in\mathbf{D}}\left[\left\{\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}q_{j'}\cdot\exp[-\alpha q_{j'}+\beta_{j'}+\gamma P_{d'}]\right\}\cdot\left\{\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}\exp[-\alpha q_{j'}+\beta_{j'}+\gamma P_{d'}]\right\}^{\mu-1}\right]+q_h\cdot\exp[-\delta q_h+\varepsilon]$$

(15.a)

また，式(13.b)の場合の総交通需要量は，式(15.a)の分母が以下のような形になったものである．

$$n_2=\mu\cdot\left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu-1}\cdot\sum_{d'\in\mathbf{D}}\left[\left\{\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}q_{j'}\cdot\exp[-\alpha q_{j'}+\beta_{j'}+\gamma P_{d'}]\right\}\cdot\left\{\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}\exp[-\alpha q_{j'}+\beta_{j'}+\gamma P_{d'}]\right\}^{\mu-1}\right]+e^{-\varepsilon}\cdot q_h^{-\delta+1}$$

(15.b)

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，代表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 地域とする．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．

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．

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）	0.064	0.549	
γ	5.749E-07	97.23	0.784
μ	0.561	209.6	

パラメータ 式(13.a)	推定値	t値	総交通需要量の相関係数
δ	84348	4.489	0.616
ε	10.77	17.03	

パラメータ 式(13.b)	推定値	t値	総交通需要量の相関係数
δ	2.807	4.393	0.607
ε	21.03	3.185	

6．総交通需要量の弾力性

ここでは，①総交通需要量の所得弾力性，②総交通需要量の自己価格弾力性，③総交通需要量と合成財の交差価格弾力性について分析する．それぞれの結果は**表−2** に示すとおりである．

まず，所得弾力性については，合成財消費の効用関数を式(13.a)，(13.b)両方で設定した場合の結果を示している．ここで弾力性がマイナスとなっているのは，所得の増加に対して総交通需要量が減少することを意味している．どちらの関数の場合も北海道以外は弾力性が 1 以下となっていること，また，関数によっては弾力性の符号が逆転する県もあることがわかる．

自己価格弾力性については，各交通機関別に示しているが，合成財消費の効用関数の違いはほとんど表れないため，ここでは，式(13.a)の場合のみ示している．ここでいう弾力性とは，交通価格が一律に 1%減少した場合の需要の増加率を意味している．北海道の航空以外は，すべて 1 以下となっていること，また航空の自己価格弾力性は 0.02～0.79（北海道を除く）と他の交通機関よりも県によるバラツキがあることがわかる．

合成財価格に対する交差弾力性については，合成財消費の効用関数を式(13.a)，(13.b)両方で設定した場合の結果を示している．式(13.a)の場合は，0.77～2.79 とバラツキがあるのに対し，式(13.b)の場合は，1.50 前後で県によるバラツキはほとんど無いことがわかる．これは式(13.b)の場合，q_h の変化に対して総交通需要量を示す式(15.b)の第二項の変化が各県とも同じとなるこ

表－2　総交通需要量の弾力性

	総交通需要量の年間所得に対する弾力性		総交通需要量の自己価格に対する弾力性			総交通需要量の合成財価格に対する交差弾力性	
	式(13. a)	式(13. b)	航空	鉄道	自動車	式(13. a)	式(13. b)
北海道	1.81	2.05	2.45	0.38	0.09	1.94	1.66
青森県	0.53	0.99	0.50	0.98	0.24	2.01	1.53
岩手県	0.40	0.55	0.15	0.98	0.33	1.66	1.47
宮城県	0.33	0.15	0.28	0.53	0.25	1.19	1.35
秋田県	0.40	0.57	0.69	0.40	0.25	1.66	1.45
山形県	0.34	0.20	0.39	0.44	0.23	1.25	1.35
福島県	0.11	-0.02	0.06	0.58	0.31	1.26	1.36
茨城県	-0.07	-0.57	0.05	0.26	0.20	0.91	1.41
栃木県	-0.09	-0.55	0.03	0.32	0.19	0.94	1.40
群馬県	-0.21	-0.56	0.03	0.30	0.19	1.04	1.36
新潟県	0.41	0.19	0.25	0.45	0.29	1.13	1.33
富山県	0.73	0.09	0.24	0.47	0.22	0.77	1.42
石川県	0.50	0.14	0.28	0.47	0.24	1.01	1.36
福井県	0.45	-0.09	0.17	0.45	0.21	0.87	1.40
山梨県	-0.14	-0.38	0.02	0.30	0.25	1.08	1.31
長野県	0.37	-0.04	0.06	0.48	0.23	0.96	1.36
静岡県	0.22	-0.37	0.02	0.40	0.20	0.81	1.39
滋賀県	0.06	-0.57	0.16	0.25	0.13	0.80	1.43
和歌山県	-0.58	-0.44	0.10	0.31	0.14	1.49	1.32
鳥取県	0.20	0.09	0.22	0.36	0.32	1.35	1.43
島根県	0.36	0.45	0.39	0.46	0.40	1.55	1.42
岡山県	-0.05	-0.21	0.11	0.46	0.15	1.23	1.36
広島県	0.48	0.25	0.26	0.73	0.22	1.23	1.43
山口県	0.27	0.25	0.16	0.80	0.29	1.49	1.48
徳島県	-0.21	-0.03	0.28	0.26	0.25	1.57	1.36
香川県	0.30	0.08	0.38	0.52	0.12	1.19	1.39
愛媛県	0.12	0.50	0.62	0.48	0.14	1.83	1.42
高知県	-0.09	0.49	0.62	0.53	0.17	1.98	1.38
福岡県	0.17	0.22	0.58	0.52	0.18	1.56	1.47
佐賀県	-0.16	-0.15	0.38	0.43	0.18	1.56	1.52
長崎県	-0.30	0.21	0.50	0.48	0.22	2.08	1.53
熊本県	-0.41	-0.05	0.44	0.38	0.20	1.90	1.51
大分県	-0.28	0.12	0.43	0.34	0.20	1.91	1.49
宮崎県	-0.38	0.42	0.79	0.27	0.27	2.38	1.56
鹿児島県	-0.68	0.53	0.56	0.50	0.43	2.79	1.58

注1）式(13. a)及び(13. b)はそれぞれ合成財消費の効用関数を示す
注2）年間所得に対する弾力性がマイナスというのは，所得の増加に対して総交通需要量が減少することを意味する

とが影響している。具体的には，式(15.b)の第一項の変化は各県で違いがでるものの第二項の変化に比べ小さいため，総交通需要量の変化，すなわち交差弾力性は県によるバラツキがほとんどなくなる。

7．便益定義

①等価的偏差 EV 及び補償的偏差 CV 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 及び補償的偏差 CV 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．合成財消費に依存した間接効用関数が式(13.a)の場合は式(16.a)，(17.a)，式(13.b)の場合は式(16.b)，(17.b)のようになる．

$$V^b=\sum_{d\in \mathbf{D}}\left(\sum_{j'\in \mathbf{M}_d}\frac{1}{\alpha}\exp\left(-\alpha\frac{p_{j'}{}^a+wt_{j'}{}^a}{w\Omega+EV}+\beta_{j'}+\gamma P_d-\ln\alpha\right)\right)^{\mu}+\frac{1}{\delta}\exp\left(-\delta\frac{p_h{}^a}{w\Omega+EV}+\varepsilon\right) \tag{16.a}$$

$$V^b=\sum_{d\in \mathbf{D}}\left(\sum_{j'\in \mathbf{M}_d}\frac{1}{\alpha}\exp\left(-\alpha\frac{p_{j'}{}^a+wt_{j'}{}^a}{w\Omega+EV}+\beta_{j'}+\gamma P_d-\ln\alpha\right)\right)^{\mu}+\frac{e^{-\varepsilon}}{\delta-1}\cdot\left(\frac{p_h{}^a}{w\Omega+EV}\right)^{-\delta+1} \tag{16.b}$$

$$V^a=\sum_{d\in \mathbf{D}}\left(\sum_{j'\in \mathbf{M}_d}\frac{1}{\alpha}\exp\left(-\alpha\frac{p_{j'}{}^b+wt_{j'}{}^b}{w\Omega-CV}+\beta_{j'}+\gamma P_d-\ln\alpha\right)\right)^{\mu}+\frac{1}{\delta}\exp\left(-\delta\frac{p_h{}^b}{w\Omega-CV}+\varepsilon\right) \tag{17.a}$$

$$V^a=\sum_{d\in \mathbf{D}}\left(\sum_{j'\in \mathbf{M}_d}\frac{1}{\alpha}\exp\left(-\alpha\frac{p_{j'}{}^b+wt_{j'}{}^b}{w\Omega-CV}+\beta_{j'}+\gamma P_d-\ln\alpha\right)\right)^{\mu}+\frac{e^{-\varepsilon}}{\delta-1}\cdot\left(\frac{p_h{}^b}{w\Omega-CV}\right)^{-\delta+1} \tag{17.b}$$

ここで，

スーパースクリプト a,b ：プロジェクトなし,あり

表－3　便益計測結果

	式(13.a)					式(13.b)				
	EV	MD	CV	MD 総需要量固定	MD 目的地別固定	EV	MD	CV	MD 総需要量固定	MD 目的地別固定
Case1	40.447	40.427	40.317	40.230	41.171	37.851	37.798	37.731	37.610	38.490
Case2	27.922	27.925	27.870	27.826	28.501	26.159	26.108	26.075	26.013	26.645
Case3	10.037	10.047	10.024	10.037	10.422	9.453	9.393	9.376	9.384	9.743

単位：億円

	式(13.a)					式(13.b)				
	EV	MD	CV	MD 総需要量固定	MD 目的地別固定	EV	MD	CV	MD 総需要量固定	MD 目的地別固定
Case1	100.00	99.95	99.68	99.46	101.79	100.00	99.86	99.68	99.36	101.69
Case2	100.00	100.01	99.82	99.66	102.08	100.00	99.81	99.68	99.44	101.86
Case3	100.00	100.10	99.87	100.00	103.84	100.00	99.37	99.19	99.27	103.08

表－4　便益計測結果（その 2）

	式(13.a)				
	EV	MD	CV	MD 総需要量固定	MD 目的地別固定
Case4-a	132.737	132.699	132.219	125.854	125.301
Case4-b	288.154	288.872	285.833	257.862	255.937

単位：億円

	式(13.a)				
	EV	MD	CV	MD 総需要量固定	MD 目的地別固定
Case4-a	100.00	99.97	99.61	94.81	94.40
Case4-b	100.00	100.25	99.19	89.49	88.82

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．

$$MD = \frac{1}{2}\sum_{d' \in \mathbf{D}}\sum_{j \in \mathbf{M}_{d'}}(X_j^{\,a} + X_j^{\,b})\left\{(p_j^{\,a} + wt_j^{\,a}) - (p_j^{\,b} + wt_j^{\,b})\right\} \quad (18)$$

8．交通改善に伴う便益計測と比較分析

交通改善に伴う便益について，総交通需要量を可変に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を行う．さらに，総交通需要量，目的地別交通需要を固定した場合の MD との比較も行う．なお，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，CV で計測した結果，さらに総交通需要量を固定した場合の MD，目的地別交通需要量を固定した場合の MD で計測した結果をまとめて**表－3** に示す．

表－3 の上表は，それぞれのケースでの便益額を示したもの，下表は各 EV を 100 とした場合のそれぞれの値を示したものである．

総交通需要量を可変にした場合の MD がほぼ EV に一致している．一方，総交通需要量を固定した場合の MD は可変の場合の MD より小さく，目的地別交通需要量を固定した場合の MD は可変の場合の MD より大きくなるが，その違いはごくわずかである．これは，滋賀県の交通価格に対する弾力性が小さいため，交通改善による誘発需要量がほとんど無いことが影響しているものと考えられる．

そこで，交通の自己価格弾力性が最も高い北海道の航空価格が低下した場合を想定し，同様の比較を行った．なお，航空価格の低下については Case4-a で一律 1000 円，Case4-b では一律 2000 円の低下を想定し，合成財消費の効用関数は式(13.a)の場合のみとした．**表－4** は，その結果を示したものである．

総交通需要量を可変にした場合の MD は，先の結果と同様にほぼ EV に一致している．しかし，総交通需要量や目的地別交通需要量を固定した場合の MD は，5～10%ほど過小評価になっている．

9．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 が 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有る．

EV，MD，CV の関係については，EV＞CV は常に成立しているが，EV＞MD＞CV は成立しない結果となった．これは，複数の価格が変化する場合には EV と CV は価格変化の経路に寄らず EV＞CV が成立するが，MD は複数の価格が変化した場合には経路に依存するため，このような結果になったと考えられる．すなわち，MD を今回のような第二次近似で計算するのではなく，厳密な積分で計算した MD であれば EV＞MD＞CV の関係が成立すると考えられる．

また，総交通需要量を固定した場合や目的地別交通需要量を固定した場合の MD は，自己価格弾力性が低い場合には EV 等とほとんど変わらないが，自己価格弾力性が 1 を大きく上回るような高い場合には，EV や総交通需要量が可変の MD に比べて過小推定となる可能性があることも示した．

今回の結果は，需要予測と便益計測を両方ともミクロ経済学的行動理論に忠実に行うことによって得られた結論である．実務で行うような発生や分布を別のモデルで将来予測し，総量が大きくなるようなモデルである場合には，依然として便益が過大推定である可能性はあるといえる．

なお，本研究には以下のような課題も残されており，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本稿で示した事例は全目的を対象としているため，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．

④業務目的交通のように価格弾力性が小さいと考えられる交通需要についても計測を行うこと．ただし，業務目的交通については，利潤関数から今回と同じアプローチで導出されたモデル [4]を用いて計測を行う必要がある．

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．

付録

式(15.a)の総交通需要量 $N_{\mathbf{J}}(\mathbf{q})$ は以下のように導出する．まず，式(12)を式(8.c)に代入すると y_j は次のようになる．

$$y_j = \frac{1}{\alpha}\cdot\exp[-\alpha q_j + \beta_j + \gamma P_d - \ln\alpha] \tag{A-1}$$

これを式(9.b)に代入すると分子 n_1 は次のようになる．

$$\begin{aligned}
n_1 &= \mu\sum_{d'\in\mathbf{D}}\left\{\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}\exp[-k_{j'}(q_{j'})]\right)\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}y_{j'}\right)^{\mu-1}\right\}\\
&= \mu\sum_{d'\in\mathbf{D}}\exp\left\{\ln\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}\exp[-k_{j'}(q_{j'})]\right)\right.\\
&\qquad\left.+(\mu-1)\ln\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}y_{j'}\right)\right\}\\
&= \mu\sum_{d'\in\mathbf{D}}\exp\left\{\ln\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}\exp[-k_{j'}(q_{j'})]\right)\right.\\
&\qquad\left.+(\mu-1)\ln\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}\exp[-k_{j'}(q_{j'})]\right)+(\mu-1)\ln\frac{1}{\alpha}\right\}\\
&= \mu\sum_{d'\in\mathbf{D}}\exp\left\{\mu\ln\left(\frac{1}{\alpha}\cdot\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}\exp[-\alpha q_{j'}+\beta_{j'}+\gamma P_{d'}]\right)\right.\\
&\qquad\left.+(\mu-1)\ln\frac{1}{\alpha}\right\}\\
&= \mu\sum_{d'\in\mathbf{D}}\exp\left\{\mu\ln\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}\exp[-\alpha q_{j'}+\beta_{j'}+\gamma P_{d'}]\right)\right.\\
&\qquad\left.+(2\mu-1)\ln\frac{1}{\alpha}\right\}\\
&= \mu\cdot\left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu-1}\cdot\sum_{d'\in\mathbf{D}}\left\{\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}\exp[-\alpha q_{j'}+\beta_{j'}+\gamma P_{d'}]\right\}^{\mu}
\end{aligned} \tag{A-2}$$

同様に分母 n_2 は次のようになる．ただし，式(9.b)の分母 n_2 の第二項，第三項は省略する（以下・・・で示す）．

$$\begin{aligned}
n_2 &= \mu\sum_{d'\in\mathbf{D}}\left\{\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}q_{j'}\cdot\exp[-k_{j'}(q_{j'})]\right)\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}y_{j'}\right)^{\mu-1}\right\}+\cdots\\
&= \mu\sum_{d'\in\mathbf{D}}\exp\left\{\ln\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}q_{j'}\cdot\exp[-k_{j'}(q_{j'})]\right)\right.\\
&\qquad\left.+(\mu-1)\ln\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}y_{j'}\right)\right.+\cdots
\end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
&= \mu \sum_{d'\in\mathbf{D}} \exp\left\{ \ln\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}} q_{j'} \cdot \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_{d'}] \right) + \ln\frac{1}{\alpha} \right. \\
&\quad + (\mu - 1)\ln\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}} \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_{d'}] \right) \\
&\quad \left. + (\mu - 1)\ln\frac{1}{\alpha} \right\} + \cdots \\
&= \mu \sum_{d'\in\mathbf{D}} \exp\left\{ \ln\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}} q_{j'} \cdot \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_{d'}] \right) \right. \\
&\quad + (\mu - 1)\ln\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}} \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_{d'}] \right) \\
&\quad \left. + (2\mu - 1)\ln\frac{1}{\alpha} \right\} + \cdots \\
&= \mu \cdot \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{2\mu-1} \cdot \sum_{d'\in\mathbf{D}} \left[\left\{ \sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}} q_{j'} \cdot \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_{d'}] \right\} \right. \\
&\quad \left. \cdot \left\{ \sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}} q \exp[-\alpha q_{j'} + \beta_{j'} + \gamma P_{d'}] \right\}^{\mu-1} \right] + \cdots
\end{aligned}
$$

(A-3)

【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

4) 上田孝行，森杉壽芳：Transport Demand Models in the Framework of Classical Microeconomic Behavior Theory - A unified Approach for Private and Business Trips -, 日交研シリーズ A-220, 日本交通政策研究会, 1997

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

上田孝行，小森俊文，森杉壽芳

本論文は、交通改善に伴う便益計測手法において実務で一般的に用いられている Marshall-Dupuit 型の消費者余剰（MD）による計測が，より厳密な便益定義である等価的偏差（EV）に対して，十分な近似になり得るかを実証的に検証することを意図している．本論文では，既に Morisugi, Ueda and Le が提案している古典的消費者行動理論に基づく交通行動モデルを用いる．そして，わが国での地域間旅客流動等の実データを用いてパラメータを推定し，その上で，交通改善に伴う便益を MD と EV によって計測し比較分析を行った．限定的なケースではあるが，MD が十分に EV の近似として有効であることを実証している．

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

By Takayuki UEDA, Toshifumi KOMORI, and Hisayoshi MORISUGI

In this paper, we verified whether the Marshall-Dupuit measure (MD) used in practice can be a sufficient approximation to Equivalent Variation (EV) in the benefit evaluation of transport improvement. We used the transportation behavior model in the context of classical consumer behavior theory proposed by Morisugi, Ueda and Le. We estimated model parameters by inter-regional trip data in Japan and then measured user's benefit by each of MD and EV. We have proved that MD is fully effective as an approximation of EV.