

消費者余剰による便益計測手法の比較研究^{*1} The Comparison of Benefit Evaluation with Consumer's Surplus

上田孝行^{*2}, 近藤浩治^{*3}, 森杉壽芳^{*4}, 小森俊文^{*5}, 末富義章^{*6}
By Takayuki UEDA^{*2}, Koji KONDO^{*3}, Hisayoshi MORISUGI^{*4}, Toshifumi KOMORI^{*5}, Yoshiaki SUE TOMI^{*6}

1. はじめに

交通改善事業の評価における交通需要予測には、従来より四段階推定法が用いられてきた。しかし、この四段階推定法では、誘発需要量および他の財との相互依存性が考慮されていないという問題点が指摘されている。それらの問題点に対して、Morisugi, Ueda and Le^{1),2)}らは古典的消费者行動理論を用いることによって上記の問題点の解決方向を示しているが経路選択を扱う配分交通量分析までは考慮されていなかった。また、交通改善事業に伴う便益を評価する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の批判がある。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 による便益評価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付きまとう。それに対して交通需要に着目した簡便法としてマーシャル・デュピュイ型消費者余剰 MD による計測が実務的には多用されている。四段階推定法による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評価にも直接的に問題を引き起こす。

そこで本研究は、初めに従来の古典的消费者行動理論より導出される交通需要予測モデルを配分分析まで拡張する。そして所要時間をパフォーマンス関数で定式化して交通需要予測モデルへフィードバックさせ得る統合交通モデルの提案を行う。また、便益評価に関してはマーシャル・デュピュイ型の消費者余剰 MD と等価的偏差 EV より得られる便益とを数値シミュレーションを用いて比較分析し、MD による便益計測手法の有効性を検討することを目的とする。

2. 古典的消费者行動理論に基づく交通需要予測モデル

古典的消费者行動理論に基づいて交通需要予測モデルを導出するにあたり、まず初めに所得制約条件と時間制約条件の下での消費者(利用者)の効用最大化行動の定式化を行う。

$$V(q) = \max_x (X_1, \dots, X_K, X_s) \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{j \in J} p_j X_j + p_h X_h = w l + \pi \quad (2)$$

$$\Omega = l + X_s + \sum_{j \in J} t_j X_j$$

式(2)の制約条件式は、以下のように一般化価格を用いた式に書き直すことができる。

$$s.t. \sum_{j \in J} q_j X_j + \sum_{h \in H} q_h X_h + q_s X_s = 1 \quad (3.a)$$

$$\text{ただし, } q_j = \frac{p_j + w t_j}{y} \quad q_h = \frac{p_h}{y} \quad q_s = \frac{w}{y} \quad (3.b)$$

ここで、

$V(\cdot)$: 間接効用関数

$U(\cdot)$: 直接効用関数

$X = [X_1, \dots, X_K] \in R_+^K$: 消費量ベクトル

X_h : 合成財消費量

X_s : 余暇時間

l : 労働時間

$\sum_j t_j X_j$: 交通利用時間

Ω : 総利用可能時間

w : 賃金率

π : 利潤配当分

$j \in J = \{1, \dots, j\} \subset K = \{1, \dots, K\}$: 交通サービスを意味する財のグループ

K : あらゆる財グループの種類

$y (= w\Omega + \pi)$: 一般化可処分所得

$q = [q_1, \dots, q_K]$: 価格ベクトル

$q = p/y$: 所得で基準化された価格

この効用最大化問題を解くことにより、需要関数が得られる。

$$X^* = X(q) \quad (4)$$

^{*1}「ネットワーク」: 交通行動分析, ネットワーク交通流

^{*2}正会員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科
(岐阜市柳戸 1-1, TEL058-293-2465, FAX058-230-1248)

^{*3}学生員 岐阜大学大学院 博士前期課程

^{*4}正会員 工博 東北大学大学院 教授 情報科学研究科

^{*5}正会員 (株)日本能率協会総合研究所

^{*6}正会員 石川県庁

式(4)を目的関数に代入することにより各財の価格ベクトルに関する関数、すなわち間接効用関数が得られる。

$$V(q) = U(X_1^*, \dots, X_K^*, X_s^*) \quad (5)$$

効用最大化行動より導出される需要関数をロワの恒等式を用いることにより交通に関する総需要量と需要シェア（分担率）の形に分解された交通需要予測モデルが式(6)のように導出される。

$$X_j(q) = N_j(q) \cdot x_j(q) \\ = \frac{\sum_{j \in \mathbf{J}} \partial V(q) / \partial q_j}{\sum_{j \in \mathbf{J}} q_j \cdot \partial V(q) / \partial q_j} \times \frac{\partial V(q) / \partial q_j}{\sum_{j \in \mathbf{J}} \partial V(q) / \partial q_j} \quad (6)$$

ここで、

$X_j(q)$: 交通サービス j に対する需要量

N_j : 交通サービスのグループ $\mathbf{J}$ に属する財の総需要量

$x_j(q)$: 交通サービスのグループ $\mathbf{J}$ 内での需要シェア

また、既に NL モデル形式で目的地別・交通機関別に拡張されたモデルも構築されている。

3. 統合交通モデルの提案

3.1 目的地・交通機関・経路別需要予測モデルの構築

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

$$d \in D = \{1, \dots, D\}, \quad m \in M_d = \{(1, d), \dots, (M_d, d)\} \\ J \in \bigcup_{m \in M_d, d \in D} R_{m,d}$$

ここで、

$d \in D = \{1, \dots, D\}$: 目的地別交通サービスのサブグループを表すラベル

$m \in M_d = \{(1, d), \dots, (M_d, d)\}$

: サブグループ d に含まれる交通機関別交通サービスのサブグループを表すラベル

$j = (r, m, d) \in R_{m,d} = \{(1, m, d), \dots, (R_{m,d}, m, d)\}$

: 経路別交通サービスのサブグループ $R_{m,d}$ に含まれるサービスを表すラベル

次に間接効用関数 $V(q)$ については以下のように特定化する。

$$V(q) = \oint_{q=-\infty}^q \sum_{j \in \mathbf{J}} \left[\left(\frac{\partial G(y_1(f_1), \dots, y_J(f_J))}{\partial y_j} \cdot \frac{-dy_j(f)}{ds_j} \right) df_j \right. \\ \left. + \sum_{h \in \mathbf{H}} \left(\frac{\partial W(q_h)}{\partial f_h} \right) df_h + \left(\frac{\partial W(q_s)}{\partial f_s} \right) df_s \right] \\ = G(y_1(f_1), \dots, y_J(f_J)) + W(q_h) + W(q_s) \quad (7.a)$$

$$G(y_j) = \sum_{d \in \mathbf{D}} \left\{ \sum_{m \in M_d} \left(\sum_{j \in R_{m,d}} (y_j)^{\lambda} \right)^{\mu} \right\}^{\gamma} \quad (7.b)$$

$$y_j = \int_{q_j}^{\infty} \exp[-k_j(f)] df \quad (7.c)$$

ここで、

$y_j(\cdot)$: q_j の単調減少関数

$h \in \mathbf{H}$: 交通サービスのグループ $\mathbf{J}$ 以外の財（合成財）を表すベクトル

$W(\cdot)$: 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

$q_h \in R_h^{K-J}$: 交通サービスのグループ $\mathbf{J}$ 以外の財（合成財）の価格ベクトル

$q_s \in R_s^{K-J}$: 余暇時間に対する価格ベクトル

$k_j(\cdot)$: 交通サービス j に対する利用者の選好を示す関数

λ, μ, γ : パラメータ

さらに、利用者の選好を示す関数 $k_j(\cdot)$ について以下のように特定化する。

$$k_j = bq_j - u_j - u_m - u_d \quad (7.d)$$

ここで、

u_j : 交通サービス j の経路の魅力度

u_m : 交通機関 m の魅力度

u_d : 目的地 d の魅力度

b : パラメータ

式(7.a)～(7.d)を式(6)に代入することで交通サービスに対する総交通需要量 $N_j(q)$ は式(8.a)～(8.c)のようになる。

$$N_j(q) = \frac{n_1}{n_2} \quad (8.a)$$

$$n_1 = \sum_{d \in \mathbf{D}} \left\{ \sum_{m \in M_d} \left[\sum_{j \in R_{m,d}} \left(\exp[u_j + u_m + u_d - \alpha q_j] \right)^{\lambda} \right]^{\mu} \right\}^{\gamma} \quad (8.b)$$

$$n_2 = \sum_{d \in \mathbf{D}} \sum_{m \in M_d} \left\{ \left[\sum_{j \in R_{m,d}} q_j \cdot \left(\exp[u_j + u_m + u_d - \alpha q_j] \right)^{\lambda} \right] \cdot \left[\sum_{j \in R_{m,d}} (y_j)^{\lambda} \right]^{\mu} \right\}^{\gamma-1} \\ \cdot \left\{ \sum_{m \in M_d} \left[\sum_{j \in R_{m,d}} (y_j)^{\lambda} \right]^{\mu} \right\}^{\gamma-1} + \sum_{h \in \mathbf{H}} q_h \cdot \frac{\partial W(q_h)}{\partial q_h} + q_s \cdot \frac{\partial W(q_s)}{\partial q_s} \quad (8.c)$$

また、需要シェア $x_j(q)$ は式(9.b)～(9.f)のように経路別 $x(r|md)$ ，機関別 $x(m|d)$ ，目的地別 $x(d)$ の需要シェアの積の形に分解できる。

$$x_j(q_j) = x(r|md) \cdot x(m|d) \cdot x(d) \quad (9.a)$$

for all $j \in J$

ここで、

$$x(r|md) = \frac{\exp[\lambda(u_j - \alpha q_j)]}{\sum_{j' \in R_{m,d}} \exp[\lambda(u_{j'} - \alpha q_{j'})]} \quad (9.b)$$

$$x(m|d) = \frac{\exp[\mu\{\ln(\sum_{j' \in R_{m,d}} \exp[\lambda(u_{j'} - \alpha q_{j'})]) + \lambda \cdot u_m\}]}{\sum_{m \in M_d} \exp[\mu\{\ln(\sum_{j' \in R_{m,d}} \exp[\lambda(u_{j'} - \alpha q_{j'})]) + \lambda \cdot u_m\}]} \quad (9.c)$$

$$x(d) = \frac{x(d)_1}{x(d)_2} \quad (9.d)$$

$$x(d)_1 = \exp[\gamma\{\ln(\sum_{m \in M_d} \exp[\mu\{\ln(\sum_{j' \in R_{m,d}} \exp[\lambda(u_{j'} - \alpha q_{j'})]) + \lambda \cdot u_m\}]) + \lambda \cdot \mu \cdot u_d\}] \quad (9.e)$$

$$x(d)_2 = \exp[\gamma\{\ln(\sum_{m \in M_d} \exp[\mu\{\ln(\sum_{j' \in R_{m,d}} \exp[\lambda(u_{j'} - \alpha q_{j'})]) + \lambda \cdot u_m\}]) + \lambda \cdot \mu \cdot u_d\}] \quad (9.f)$$

3.2 統合交通モデル

3.1 で拡張したモデルにおいて各リンクの所要時間にパフォーマンス関数を設定した上で交通に対する各リンクの一般化費用を式(10)によって算出する。

$$q_l = \left\{ t_{0l} \cdot \left(1 + \alpha \left(\frac{X_l}{K_l} \right)^\beta \right) \cdot w + p_l \right\} / y \quad (10)$$

ここで、

$l \in L$: リンクを表すラベル

q_l : 各リンクの一般化費用

t_{0l} : 各リンクのゼロフロー走行時間

K_l : 各リンクの実用交通容量

p_l : 各リンクの料金費用

そして一般化費用が目的地・交通機関・経路別需要予測モデルへフィードバックさせ得る統合交通モデルへの提案を行う。そのフローチャートは図1に示す。

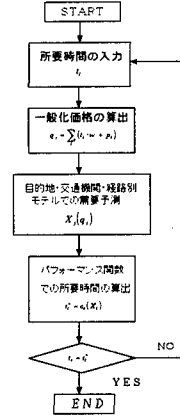


図1 所要時間計算のフローチャート

4. 便益定義

4.1 等価的偏差 EV による便益定義

本モデルでは、式(7.a)の間接効用関数を用いて、等価的偏差 EV の概念に基づいて式(11)のように定義する。

$$V^b = \sum_{d \in D} \left\{ \sum_{m \in M_d} \left[\sum_{j \in R_{m,d}} \left(\exp \left[u_j + u_m + u_d - b \frac{P_{j'}}{y + EV} \right] \right)^\lambda \right]^\alpha \right\} + \sum_{h \in H} W(u_h, P_h, y + EV) + W(u_s, P_s, y + EV) \quad (11)$$

ここで、

a, b : プロジェクトなし、あり

4.2 マーシャル・デュビュイ型消費者余剰 MD による便益定義

MD による便益は以下のように定義できる。

総交通ベース

$$MD = \frac{1}{2} (N_j^a + N_j^b) (q_j^a - q_j^b) \quad (12.a)$$

目的地ベース

$$MD = \frac{1}{2} \sum_{d \in D} (X_d^a + X_d^b) (q_d^a - q_d^b) \quad (12.b)$$

交通機関ベース

$$MD = \frac{1}{2} \sum_{m \in M_d} (X_m^a + X_m^b) (q_m^a - q_m^b) \quad (12.c)$$

経路ベース

$$MD = \frac{1}{2} \sum_{j \in R_{m,d}} (X_j^a + X_j^b) (q_j^a - q_j^b) \quad (12.d)$$

上記の総交通、目的地、交通機関ベースに関してはそれぞれを一つのグループとみなし、そのグルー

ブに対する需要量と交通サービスの代表価格を用いてMDを定義したものである。また、代表価格には重み付けおよびログサムで平均化した価格を用いる。

5. 数値シミュレーション

本研究で構築した統合交通モデルを用いて図2に示す2 OD pair, 2 models (Auto + Mass Transit), 6 paths (4 for Auto + 2 for MT)の仮想ネットワークにおいて数値シミュレーションを行う。

また、交通改善は R_4 の交通容量を12000(台/日)→18000(台/日)に変更するものとして表現する。

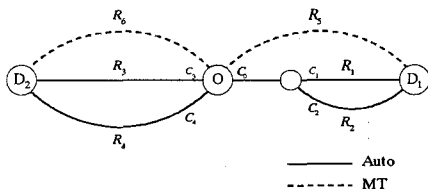


図2 ネットワークの概要

$$d \in D = \{D_1, D_2\}$$

$$m \in M_d = \{A_1, A_2, M_1, M_2\}$$

$$j = (r, m, d) \in R_{m,d} = \{(R_1, A_1, D_1), (R_2, A_1, D_1), (R_3, A_2, D_2), (R_4, A_2, D_2), (R_5, M_1, D_1), (R_6, M_2, D_2)\}$$

$$l \in L = \{0, 1, 2, 3, 4\} : \text{リンクのラベル集合}$$

ここで数値シミュレーションの際の交通改善前と交通改善後の経済システムおよびパラメータなどを表1, 表2に示す。

表1 インプットデータ

パラメータ	改善前	改善後
b	300	300
μ	0.4	0.4
γ	0.5	0.5
λ	0.7	0.7
経路魅力度 u_k	$j=1$	10
	$j=2$	10
	$j=3$	10
	$j=4$	10
	$j=5$	10
	$j=6$	10
機関魅力度 u_m	$j=1$	10
	$j=2$	10
	$j=3$	10
	$j=4$	10
	$j=5$	10
	$j=6$	10
目的地魅力度 u_d	$j=1$	10
	$j=2$	10
	$j=3$	10
	$j=4$	10
	$j=5$	10
	$j=6$	10
余暇時間/パラメータ	100	100
余暇時間魅力度	11.5	11.5
余暇時間価格(所得基準化)	2.2E-06	2.2E-06
合成財/パラメータ	100	100
合成財魅力度	10	10
合成財価格(所得基準化)	5.6E-08	5.6E-08
一般化可能所得(円)	18000000	18000000
時間価値(円/分)	40	40
定数項	-40000	-40000
平均乗車人数(人/台)	1.3	1.3
年・日換算	1年=300日	1年=300日
料金費用(円)	$i=0$ 2000	2000
	$i=1$ 2000	2000
	$i=2$ 2000	2000
	$i=3$ 4000	4000
	$i=4$ 4000	4000

表2 パフォーマンス関数

α	1	1
ゼロフロー所用時間 t_0	$i=0$ 3	3
	$i=1$ 40	40
	$i=2$ 50	50
	$i=3$ 60	60
	$i=4$ 100	100
交通容量(台/日) K_0	$i=0$ 24000	24000
	$i=1$ 12000	12000
	$i=2$ 12000	12000
	$i=3$ 12000	12000
	$i=4$ 12000	18000

数値シミュレーションによるEVおよびMDの便益計測における比較分析の一例を表3に示す。四段階推定法に対応して総交通需要、OD別需要、機関別需要のそれぞれを改善なしの場合に固定して交通配分を行い、それに基づいてMDを計算している。

表3 EVを基準(=100)としたときのMD

		内生的交通需要		外生的交通需要	
		総交通需要 固定	OD別交通需要 固定	交通機関別 需要量固定	交通機関別 需要率固定
代表価格	平均	48.2	54.7	64.5	65.1
	総交通ベース	49.6	56.0	66.8	66.8
	目的地ベース	49.8	56.0	66.8	66.8
代表価格	平均	48.9	55.4	65.3	65.8
	総交通ベース	62.1	59.8	69.4	69.3
	目的地ベース	62.1	69.6	68.3	69.1
機関別ベース		46.3	62.9	62.7	63.3

以上のように、古典的消费者行動理論に基づくEVとMD、および需要固定下でのMDは大きく乖離している。

6. まとめ

本研究では、従来の古典的消费者行動理論による交通需要予測モデルを配分分析まで拡張した上で余暇時間消費を組み込んだ統合交通モデルに拡張した。

便益評価に関してはEVとMDの比較分析の結果の一例を示した。結果の考察としてはMDによる便益計測が過小評価になる結果となっている。しかし、他のパラメータ設定ではMDによる便益計測が過大評価になるケースもあった。したがって、さらなる計測結果の蓄積を行ってMDによる便益計測の有効性を検討する必要がある。

現在は、各関数型を再検討しながら本モデルの挙動を確認するためにパラメータ(b, μ, γ, λ)による感度分析を行っており、その上でMDとEVの比較分析を行っている段階である。

講演時には交通需要予測値および便益計測値に対するパラメータの感度分析および便益計測値の比較分析についても示す予定である。

【参考文献】

- 1) Hisa MORUSUGI, 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) Morisugi, H., Ueda, T. and Le, D.H: GEV and Nested Logit Models in The Context of Classical Consumer Theory, Journal of Infrastructure Planning and Management, No506/IV-26 JSCE, pp129-136, 1995.