交通施策実施時の社会的便益評価

麻生　雅之[1]・吉井　稔雄[2]・高山　雄貴[3]

[1]学生員　愛媛大学　大学院理工学研究科（〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番）
E-mail:aso.masayuki.08@cee.ehime-u.ac.jp

[2]正会員　愛媛大学　教授　大学院理工学研究科（〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番）
E-mail:yoshii@cee.ehime-u.ac.jp

[3]正会員　愛媛大学　助教　大学院理工学研究科（〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番）
E-mail:takayama@cee.ehime-u.ac.jp

本稿では，ガソリン価格，高速道路料金，公共交通料金などを直接的に操作する交通施策を対象として取り上げ，需要の変動と外部効果を考慮して施策実施時の社会的便益を評価する手法を構築する．そして，同手法を四国，中国，関西地域を発着地とした旅客交通に適用して，各種交通施策実施時の社会的便益を試算する．

Key Words : *cost-benefit analysis, social benefit,traffic demand*

1　はじめに

近年，高速道路の度重なる料金設定の変更，ガソリンの暫定税率廃止，あるいは公共交通機関への補助といった様々な交通施策が実施されている．施策実施に先立っては，社会的効果を定量的に評価することが必要であるにもかかわらず，施策実施が交通に与える影響の評価が十分になされていないのが現状である．今日まで，交通施策実施による効果予測手法として，費用便益分析が重要な役割を担ってきた．しかし，同分析手法では，交通需要の増減や CO_2 排出量等の外部効果について十分には考慮されていない．

そこで，本稿では，交通需要予測モデルを構築し，交通施策実施に伴う交通動態の変化を予測する．そして，同モデルによる交通需要予測結果に基づいて，交通施策実施時に獲得される社会的便益の評価方法を構築する．特に，外部効果として CO_2 排出による費用を考慮した上で社会的便益を評価する．さらに，構築した評価方法を四国周辺の交通に適用し，各種交通施策実施時の社会的便益を試算する．

2　既往研究

交通施策実施に伴う影響評価として，森杉ら[1)]は目的地別需要シェアと交通機関別需要シェアを統合したネスティッドロジットモデルを構築し，交通サービスの変化による総交通需要量の変化を予測する方法を提案した．

さらに，上記の研究に労働時間や余暇時間等の時間制約を考慮した交通需要予測モデル[2)]を構築した．これらの研究では，構築した交通需要予測モデルを用いて，交通施策実施時の交通需要の変化を予測した後，等価的偏差および補償的偏差を算出し，Marshall-Dupuit 型の消費者余剰との比較分析を試みている．

また，高速道路の料金に関する政策論議を背景として，社会的便益を試算した上田[3)]による研究が報告されている．しかし，同研究では高速道路料金のみを考慮し，その他公共交通機関の料金に影響を与える施策については考慮されていない．

ミクロ経済学的アプローチとして，金本[4)]は，社会的費用と社会的便益を考慮し，交通施策実施時の影響評価を行っている．しかし，ここでも高速道路料金に対する施策のみの便益評価に止まり，複数のモードによる影響は考慮されていない．

そこで，本研究においては，既往研究より得られた知見を組み合わせて交通施策実施時の影響評価を行う．ここでは，複数のモードを対象とする交通需要予測モデルを構築し，同モデルを用いて各種交通施策実施時における社会的便益を算出し施策評価を行う．

3　研究概要

3-1　古典的消費者行動理論による交通需要予測モデル

本稿では，森杉ら[2)]上田ら[3)]のモデルを採用し分析を行

う．古典的消費者行動理論に基づいた森杉らのモデルでは，消費者は，一定の所得制約の下で，財やサービスを利用して効用を最大化する．同モデルでは，ある個人の効用を式(1)に示す．

$$V(\mathbf{q}) = \max_{X} U(X_1, X_2, \ldots, X_K) \tag{1}$$

$$s.t \qquad \sum_{k \in \mathbf{K}} q_k X_k = q_1 X_1 + q_2 X_2 + \ldots + q_K X_K = 1$$

ただし，

$U(\cdot)$：直接効用関数

$V(\mathbf{q})$：間接効用関数

$\mathbf{q}$：基準化された価格ベクトル

X_k：財(あるいは交通サービス)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

$q_k = p_k / y$：平均所得で基準化された財kの価格

y：平均所得(円)

p_k：財(あるいはサービス)kの価格

上記の最大化問題を解き，得られる需要関数を効用関数に代入すると，式(2)のように各財の価格ベクトルの間接効用関数が表される．

$$V(\mathbf{q}) = U(X_1^*, X_2^*, \ldots, X_K^*) \tag{2}$$

ここで，

X_k^*：最大化問題を解いた後の財kに対する需要量

前記の間接効用関数を用いて目的地選択，交通機関選択の2段階のネスティッドロジットモデルを適用すると目的地d，交通機関mであるラベルjを選択する交通のシェア$x_j(\mathbf{q})$は以下の式で表現される．

$$x_j(\mathbf{q}) = x(d, m) = x(m|d) \cdot x(d) \tag{3}$$

$$x(m|d) = \frac{\exp[-k_j(q_j)]}{\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})]} \tag{4}$$

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

$$= \frac{\exp\left\{\ln\left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[-k_{j'}(q_{j'})]\right) + (\mu-1)\ln\left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} y_{j'}\right)\right\}}{\sum_{d' \in \mathbf{D}} \exp\left\{\ln\left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_{d'}} \exp[-k_{j'}(q_{j'})]\right) + (\mu-1)\ln\left(\sum_{j' \in \mathbf{M}_{d'}} y_{j'}\right)\right\}} \tag{5}$$

$$for \quad all \qquad d \in \mathbf{D}$$

ただし，

$x(m,d)$：目的地d交通機関mの需要シェア

$x(m|d)$：目的地dの交通に占める交通機関mの需要シェア

$x(d)$：目的地dの需要シェア

$k_j(.)$：交通サービスjに対する利用者の選好を表す関数

$\mathbf{J} = \{1, \ldots, J\}$：交通サービスを意味する財のラベルの集合

y_j：q_jの単調減少関数であり，個別の交通サービスによる効用

$\mathbf{D} = \{1, \ldots, D\}$：目的地のグループを表すラベル

$\mathbf{M}_d = \{(1,d), \ldots, (M_d, d)\}$：目的地に対する交通機関のグループ$\mathbf{M}_d$に含まれる財を表すラベル

μ：パラメータ

3-2　目的地・交通機関別旅客需要予測モデル

上記で導出されたモデルにおいて，サブグループdが目的地，それに含まれる財mがその目的地に行く際の交通機関と考える．ここで関数$k_j(.)$については，一般化費用と目的地人口の線形関数として，

$$k_j(q_j) = -\alpha q_j + \beta h_d - \gamma_j \tag{6}$$

ただし，

h_d：目的地人口(人)

α, β, γ_j：パラメータ

と定義すれば，

$$x(m|d) = \frac{\exp[\alpha q_j - \beta h_d + \gamma_j]}{\sum_{j' \in \mathbf{M}_d} \exp[\alpha q_{j'} - \beta h_d + \gamma_{j'}]}$$

$$for \quad all \qquad j = (m,d) \in \mathbf{J} \tag{7}$$

$$x(d)=\frac{\exp\left\{\mu\ln\sum_{j'\in\mathbf{M}_d}\exp\left[\alpha q_{j'}-\beta h_d+\gamma_{j'}\right]\right\}}{\sum_{d'\in\mathbf{D}}\exp\left\{\mu\ln\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}\exp\left[\alpha q_{j'}-\beta h_{d'}+\gamma_{j'}\right]\right\}}$$

$$for\quad all\quad d\in\mathbf{D} \tag{8}$$

また，総交通需要量 $N(\mathbf{q})$ は，

$$N(\mathbf{q})=\frac{\sum_{d'\in\mathbf{D}}\left\{\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}\exp\left[\alpha q_{j'}-\beta h_{d'}+\gamma_{j'}\right]\right)\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}y_{j'}\right)^{\mu-1}\right\}}{\sum_{d'\in\mathbf{D}}\left\{\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}q_{j'}\cdot\exp\left[\alpha q_{j'}-\beta h_{d'}+\gamma_{j'}\right]\right)\left(\sum_{j'\in\mathbf{M}_{d'}}y_{j'}\right)^{\mu-1}\right\}+\sum_{h\in\mathbf{H}}q_h\cdot W_{qh}} \tag{9}$$

となる．

また，合成財消費に依存した間接効用 W_{qh} については，式(10)のような関数を仮定する．

$$W_{qh}=\exp\left[-\delta q_h-\varepsilon\right] \tag{10}$$

ただし，

q_h ：合成財価格を出発地別平均所得で基準化

ε,δ ：パラメータ

3-3　社会的便益評価方法

交通施策実施時における社会的便益は，消費者余剰と生産者余剰ならびに，外部費用の和で算定し，評価は現状からの増減量で行う．以下，算定方法について示す．

3-3-1　消費者余剰の増減量

図-1 に示すように消費者余剰の増減量については，*MD* 型消費者余剰の増分を考える．同算定方法は，施策実施前後における一般化費用と交通需要量から以下の式(11)にて，交通機関 m の消費者余剰の増分 MD_m を試算する．ここでの一般化費用とは，サービス購入価格と時間費用の和である．サービス購入価格とは，交通機関 m の利用に要する料金であり，時間費用とは交通機関 m における OD 間所要時間費用である．

$$MD_m=\frac{1}{2}\left(X_m^a+X_m^b\right)\left(p_m^a-p_m^b\right) \tag{11}$$

ただし，

X_m^a，X_m^b ：交通施策前後における交通機関 m の需要量

p_m^a，p_m^b ：交通施策前後における交通機関 m の一般化費用

なお，同増減量を全 OD，全交通機関について算定し，その総和をとって消費者余剰の増減量とする．

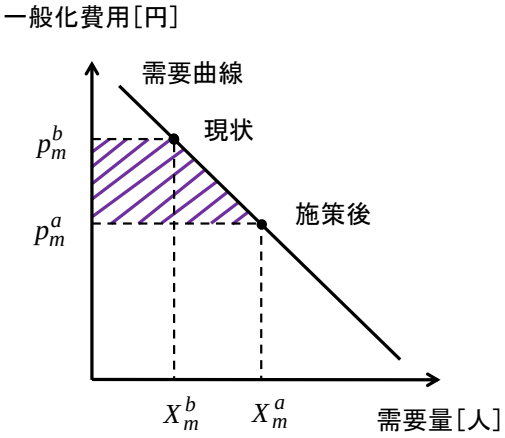

図-1　交通機関 m の消費者余剰の増減量

3-3-2　生産者余剰の増減量

生産者余剰は，利用者がある交通機関を利用する際の一般化費用から時間費用を差し引いてサービス購入価格を求め，同価格からサービス提供に要する費用を差し引いた値で，交通機関 m に関する施策実施前後の生産者余剰 S_m^b，S_m^a は，以下の式(12)と式(13)で算定される．

$$S_m^b=\left(p_m^b-C_m-t_m^b\right)\cdot X_m^b \tag{12}$$

$$S_m^a=\left(p_m^a-C_m-t_m^a\right)\cdot X_m^a \tag{13}$$

ただし，C_m は需要量 1 人を輸送するに要する生産者費用，t_m^b，t_m^a はそれぞれ事前事後の時間費用を示す．

p_m^a，p_m^b は各交通機関別に以下の費用から構成される．

1)乗用車等利用

・サービス購入価格：高速道路料金，燃料購入費用

・時間費用

なお，燃料購入費用に関しては，税分と燃料調達費用分とに分け，前者については社会に還元されるが後者は社会的費用と考えられるので，生産者費用の一部として取り扱う．

2) 航空機，鉄道，バスの利用

・利用料金

・時間費用

ここで，1 人を輸送するのに要する生産者費用について，単位輸送量あたりのガソリン燃料調達費用および道

路維持管理の限界費用の和をη (円/人 km)，鉄道，バス，航空機における単位輸送量あたりの運行費用をω (円/人 km)とおくと，交通施策実施前後における生産者余剰の増減量 SD は以下の式(14)にて算定される．

$$SD=\sum_m\left\{\left(f_m^a\cdot X_m^a-f_m^b\cdot X_m^b\right)-\delta_{car}\eta\cdot l\left(X_m^a-X_m^b\right)-\left(1-\delta_{car}\right)\omega\cdot l\left(X_m^a-X_m^b\right)\right\} \quad (14)$$

ただし，

f_m^a，f_m^b ：交通施策実施前後におけるサービス購入価格

δ_{car} ：(1) m=乗用車等，(0) others

l ：OD 間直線距離(km)

なお，同増減量を全 OD，全交通機関について算定し，その総和をとって生産者余剰の増減量とする．

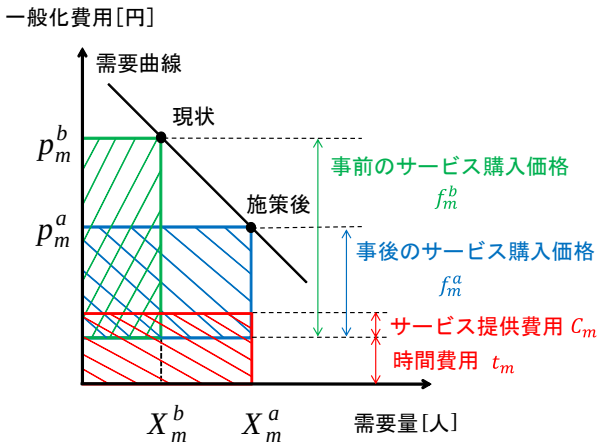

図-2　交通機関 m の生産者余剰の増減量

3-3-3　外部費用の増減量

外部費用には，CO_2 等の温暖化ガス，大気汚染，事故費用があげられる．本研究では，外部費用の増減量のうち，CO_2排出による費用を取り上げ，その評価をする．

CO_2 排出量は，各交通機関の輸送量(人・km)に CO_2 排出量原単位を乗じて算出する．同排出量に基づいて，外部費用の増減量 ED(円)は，以下の式(15)で算定する．

ED(円)=
{施策後 CO_2排出量(t-c) - 施策前 CO_2排出量(t-c)}×10,600(円/t-c)
(15)

4　社会的便益の試算

4-1　データ概要とモデルパラメータ推定結果

4-1-1　分析対象機関とゾーン設定

対象交通機関としては，航空，鉄道，バス，乗用車等の4機関である．なお，幹線旅客船に関してはデータ数が少ないため対象外とする．

対象地域として，徳島，香川，愛媛，高知，岡山，広島，山口，山陰(鳥取・島根)，関西(2府5県)の計9ゾーンを設定する．

4-1-2　使用データ

本試算では，「全国幹線旅客純流動調査」の交通機関別都道府県間流動表の 2005 年データを用いる．このデータは，幹線交通機関を利用して都道府県間を行き交う旅客流動一人ひとりに着目し，乗り継ぎを含め実際の出発地から目的地まで，一連の流動を把握した全国規模の調査データである．

出発地別平均所得は，2005 年国勢調査結果の都道府県別所得を使用する．また，時間費用の算定方法は，国土交通省道路局より，各交通機関別の時間価値原単位と各交通機関別 OD 間所要時間の積をもって表す．

合成財価格は，2005 年国勢調査結果の都道府県別・用途別平均価格を使用する．都道府県別・用途別平均価格は，都道府県別に住宅地，住宅地見込地，商業地，準工業地，工業地，市街化調整区域内宅地のそれぞれの価格が掲載されている．この 6 つの平均価格を合成財価格として使用する．

4-1-3　パラメータ推定結果

上記のデータを用いて 3 章で示した交通需要予測モデルのパラメータ推定を行った結果を表-1 に示す．表-1 より，費用の係数が負値であり，費用が低くなるに従って，対象交通機関の需要シェアが高くなることを示している．また，目的地別人口の，係数が正値を示し，人口が多い地域へのトリップが，人口が少ない地域に比べ大きくなることを示している．

表-1　パラメータ推定結果

	パラメータ	推定値	t値
費用(共通変数)	α	-962.27	-175.08
航空	γ_1	-0.06	-3.02
鉄道	γ_2	-1.96	-328.64
バス	γ_3	-3.50	-352.03
目的地人口（共通変数）	β	1.21×10^{-6}	133.99
	μ	0.43	145.03
サンプル数			335734
補正済み決定係数R^2			0.24

	パラメータ	推定値	t値
関数W_{qh}	δ	34.90	11.87
	ε	-9.30	-112.50
補正済み決定係数R^2			0.72

4-2　交通施策実施による便益評価

本研究による試算では，高速道路料金無料化施策と鉄道料金無料化施策を実施した場合の社会的便益を比較す

る．さらに，ガソリン価格を操作した際の，交通需要量の増減を試算する．

4-2-1　高速道路料金無料化および鉄道料金無料化

本試算では，交通機関別のサービス提供に関する限界費用を$\eta=10$ (円/人・km)，$\omega=0$ (円/人・km)と仮定する．試算の結果，鉄道料金無料化が約 9 億 5,000 万円，高速道路料金無料化が約 1 億 2,000 万円の便益を発現するとの結果が得られた．すなわち，高速道路料金無料化よりも鉄道料金無料化の方が，社会的便益が大きいとの結果を得た．また，同値はη，ωの値によって変化することから，限界費用η，ωに関する感度分析を行った．その結果を**図-3** に示す．図中の直線は，両施策による社会的便益が等しくなる$(\eta,\ \omega)$の組み合わせを示す．直線より上方は鉄道料金無料化施策の方が高速道路無料化施策よりも，社会的便益が高い領域を示す．一般に，限界費用は高速道路の方が鉄道よりも大きいと考えられるため，$(\eta,\ \omega)$の値にかかわらず高速道路料金無料化よりも鉄道料金無料化の方が，社会的便益が大きいと考えられる．

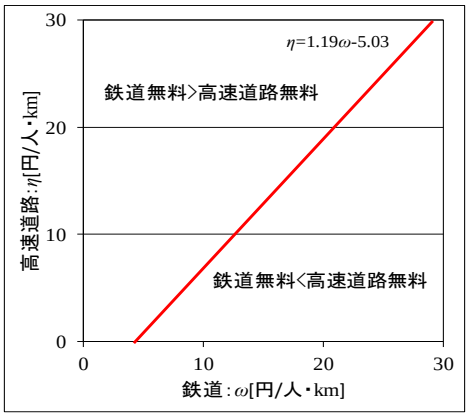

図-3　鉄道と高速道路の限界費用の分析結果

4-2-2　ガソリン価格の増減

本稿では，ガソリン価格を操作した際の影響評価を試算する．ここでは，ガソリン価格を現況の3倍および10倍に設定し，各交通機関別の需要量の増減を試算する．

ガソリン価格を3倍にした際の交通需要量の増減を**図-4**に示す．結果，現状の交通量と比較して，鉄道が約1.3倍に増加するのに対して，乗用車等が約0.6倍に減少することが示された．また，ガソリン価格を10倍にした際の交通需要量の増減を**図-5**に示す．結果，ガソリン価格を3倍にした際と同様に，現状の交通需要量と比較して鉄道が約1.7倍に増加するのに対して，乗用車等が約0.1倍に減少するとの結果が示された．

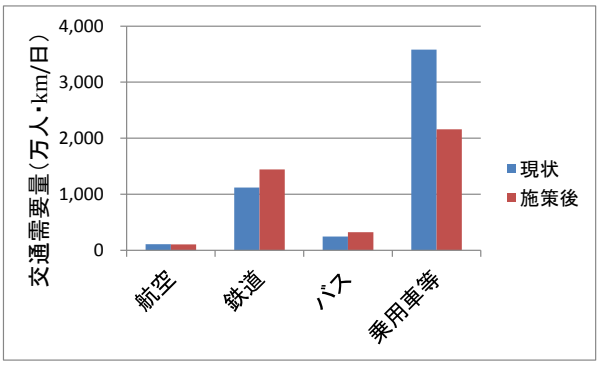

図-4　ガソリン価格3倍の際の交通需要量の増減

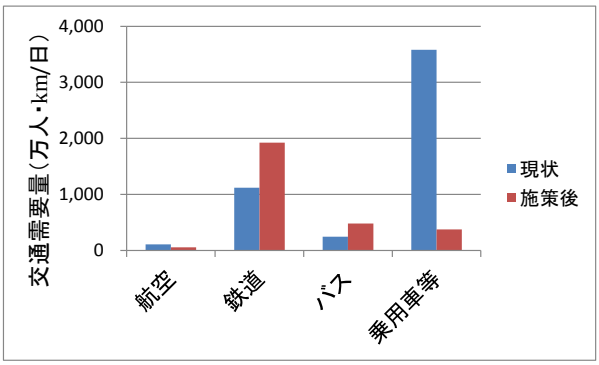

図-5　ガソリン価格10倍の際の交通需要量の増減

5　おわりに

限界費用を仮定して社会的便益を試算した結果，鉄道料金無料化の方が高速道路料金無料化に比べ，社会的便益が高いことが示された．

また，ガソリン価格の増加による各交通機関の需要量の増減を試算した結果，特に，鉄道需要量が増加することが示された．よって，将来のガソリン価格の高騰に備えて，鉄道利用者の増加を考慮したインフラ整備が必要であると考えられる．

今後は，インフラのストック量ならびに，長期的な土地利用の変化も考慮した分析を行っていきたい．

【参考文献】

1) 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 Vol.19(1)，1996
2) 上田孝行・小森俊文・森杉壽芳：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，土木計画学研究・講演集 Vol.17，2000
3) 上田孝行：高速道路料金変更政策の費用便益分析，運輸政策研究，Vol.12，No.3，2009
4) 金本良嗣：消費者余剰アプローチによる政策評価，RIETI Discussion Paper Series，04-J-042，2004