

交通投資の費用便益分析

城所 幸弘*

要 約

本稿は、標準的なミクロ経済モデルをもとに、交通投資の便益評価理論を解説し、それをもとに、現在用いられている交通投資の費用便益分析のマニュアル類の問題点を整理することを目的としている。本稿では次のように議論を展開していく。

Ⅱ節では、交通投資の便益評価の基本モデルを解説する。この基本モデルでは、ルート1、ルート2の2つのルートが存在するケースを考えている。ルート1とルート2の関係は代替的であっても補完的であってもよい。Ⅱ節で示すのは、ルート1の交通投資の便益は、下記の3通りの方法で求められるということである。第一に、ルート1の消費者余剰の変化、ルート1の生産者余剰の変化、ルート2の消費者余剰の変化、ルート2の生産者余剰の変化の合計として求められる。第二に、ルート2でおきる変化をまとめて、ルート1の消費者余剰の変化、ルート1の生産者余剰の変化、ルート2の死重損失の変化の合計として表現することもできる。第三に、ファーストベストでの便益に注目して、ファーストベストのルート1の総余剰の変化、ルート1の死重損失の変化、ルート2の死重損失の変化としても表現できる。

Ⅲ節では、Ⅱ節のように、交通投資の便益を交通市場（ルート1、ルート2）の便益だけでとらえることが妥当かどうかを議論する。交通市場以外で付け加えるべき便益はその市場での死重損失の変化だけになる。完全競争市場を考えれば、この死重損失の変化はゼロである。したがって、完全競争市場と非常に異なった状況でない限り、交通市場以外で考慮しなければならない便益の変化は小さいことが示唆される。

Ⅳ節では、基本モデルの弱点について述べる。そこでは、あるプロジェクトによって新規のルートが開設される場合には、基本モデルの方法を適用することが実務上難しいことを指摘する。

Ⅴ節では、実務上よく利用される、Wardropモデルとロジットモデルを解説する。Wardropモデルは、ルート1とルート2が完全に代替的である場合を考えている。ロジットモデルは、あるルートを利用することから得られる効用が確定的部分と確率的部分に分けられ、その確率的部分がロジット分布に従うという仮定の下で得られるモデルである。Ⅴ節では、これら2つのモデルが基本モデルの特殊ケースにあたることを示す。これら2つのモデルでは効用関数の形が特定化されるため、新規のルートを整備するプロジェクトの場合でも、実務上簡単に便益を計算することができる。

Ⅵ節では、Ⅴ節までの分析を踏まえて、現状の交通投資の便益評価モデルを検討する。取り上げるのは、道路、鉄道、空港の費用便益分析マニュアルである。道路に関しては、各ルートが完全に代替的で総交通需要が固定の場合しか成立しない便益計算法をすべての

* 政策研究大学院大学助教授，連絡先：E-mail：kidokoro@grips.ac.jp

場合にあってはめていることが問題になる。鉄道と航空に関しては、各ルート的一般化価格の平均を用いて便益評価を行うことの妥当性を論じる。また、空港の費用便益分析マニュアルで必ずしも明記されていない、空港に容量制約がある場合の便益評価についても解説する。

Ⅶ節で、本稿の分析の総括を行う。本稿の結論は非常に単純である。Ⅱ節の基本モデルが示す便益評価法は、どのような交通需要予測がなされても、その交通需要予測が生み出す予測が正しい限り必ず正しい便益を与える。もちろん、一般均衡需要曲線を線形で推定した場合はそれに伴う誤差が生じるであろう。しかし、そのような実務で生じる誤差を無視できるのであれば、Ⅱ節の基本モデルの方法を用いればよい。今後は、新規のルートが開設される場合の便益評価を実務的にどのように行うかという点や、仕事時と非仕事時では時間価値が異なるといったような、複数の時間価値をどのように扱うかという点が課題になるであろう。

I. はじめに

交通投資の費用便益分析は、すでに実務上広く用いられており、国土交通省のホームページ等では、個別事例の費用便益分析の結果を容易に見つけることができる。また、このような費用便益分析の手順を示したマニュアル類も整備されている。例えば、道路には国土交通省(2003)が、鉄道には運輸政策研究機構(1999)が、空港には国土交通省(2004a)が存在し、すべての公共事業において共通的に考慮すべき事項については、国土交通省(2004b)にまとめられている。これらのマニュアル類は実際の費用便益分析をどのように行うかに主眼が行われているため、背後にある経済学的モデルに関しては詳細には触れられていない。この点で、経済学の研究者や経済学の素養を持つ実務家は、標準的な経済学的議論とこれらのマニュアル類との間の整合性に関してあいまいな印象を持つであろう。

本稿で行うのは、標準的なミクロ経済モデルをもとに、交通投資の便益評価理論を解説し、それをもとに現在の費用便益分析のマニュアル類の問題点を整理することである。その過程で、ミクロ経済学の行動モデルとマニュアル類との

間にはいくつかの不整合な点があることも明らかになるであろう。したがって、本稿は標準的なミクロ経済学を踏まえてマニュアル類を再検討し、今後の課題や未解決の点を明確化する役割を果たすことも目的としている。

本稿での議論の展開をまとめておこう。

Ⅱ節では、交通投資の便益評価の基本モデルを解説する。この基本モデルでは、ルート1、ルート2の2つのルートが存在するケースを考えている。ルート1とルート2の関係は任意である。つまり、ルート1とルート2は代替的であっても補完的であってもよい。現実の交通ネットワークはこのような単純なモデルよりもはるかに複雑であるが、2つのルートだけが存在するケースを単純に応用することにより、どのような複雑な交通ネットワークの便益評価を行うこともできる。Ⅱ節では、ルート1の交通投資の便益が下記の3通りの方法で求められることを示す。第一に、ルート1の消費者余剰の変化、ルート1の生産者余剰の変化、ルート2の消費者余剰の変化、ルート2の生産者余剰の変化の合計として求められる。第二に、ルート2でおきる変化をまとめて、ルート1の消費者余

剰の変化、ルート1の生産者余剰の変化、ルート2の死重損失の変化の合計として表現することもできる。第三に、ファーストベストでの便益に注目して、ファーストベストのルート1の総余剰の変化、ルート1の死重損失の変化、ルート2の死重損失の変化としても表現できる。

Ⅲ節では、Ⅱ節のように、交通投資の便益を交通市場（ルート1、ルート2）の便益だけにとらえることが妥当かどうかを議論する。Ⅱ節の結果より、投資が行われたルート以外のルート（ここではルート2）では、便益の変化は死重損失の変化だけになる。この結果は、交通市場以外を明示的に含むようにモデルを拡張しても当てはまる。すなわち、交通市場以外で付け加えるべき便益はその市場での死重損失の変化だけになる。完全競争市場を考えれば、この死重損失の変化はゼロである。したがって、完全競争市場と非常に異なった状況でない限り、交通市場以外で考慮しなければならない便益の変化は小さいことが示唆される。

Ⅳ節では、基本モデルの弱点について述べる。そこでは、あるプロジェクトによって新規のルートが開設される場合には、基本モデルの方法を適用することが実務上難しいことを指摘する。

Ⅴ節では、実務上よく利用される、Wardropモデルとロジットモデルを解説する。Wardropモデルは、ルート1とルート2が完全に代替的である場合を考えている。したがって、両ルートが利用されているならば、ルート1とルート

2の一般化価格（時間費用を含んだ価格）は等しくなる。一方のルートしか利用されていないときは、そのルートの一般化価格は他方のルートの一般化価格よりも低い。ロジットモデルは、あるルートを利用することから得られる効用が確定的部分と確率的部分に分けられ、その確率的部分がロジット分布に従うという仮定の下で得られるモデルである。Ⅴ節では、これら2つのモデルが基本モデルの特殊ケースにあたることを示す。そして、これら2つのモデルでは効用関数の形が特定化されるため、Ⅳ節で述べた基本モデルの弱点が克服されることを示す。すなわち、2つのモデルの下では、新規のルートを整備するプロジェクトの場合でも、実務上簡単に便益を計算することができる。

Ⅵ節では、Ⅴ節までの分析を踏まえて、現状の交通投資の便益評価モデルを検討する。取り上げるのは、道路、鉄道、空港の費用便益分析マニュアルである。道路に関しては、各ルートが完全に代替的で総交通需要が固定の場合しか成立しない便益計算法をすべての場合に当てはめていることが問題になる。鉄道と航空に関しては、各ルートの一般化価格の平均を用いて便益評価を行うことが便益計算を歪めることを示す。また、空港の費用便益分析マニュアルで必ずしも明記されていない、空港に容量制約がある場合の便益評価に関しても解説する。

Ⅶ節で、本稿の分析の総括を行い、今後の課題を述べる。

Ⅱ．交通投資の便益評価の基本モデル

ここでは、交通投資の便益評価の基本的なモデルを解説する。代表的消費者の効用関数は、簡単化のため、合成財 z （価格1）に関して準線形であるとする。よく知られているように¹⁾、準線形の効用関数のもとでは、所得効果が発生

せず、消費者余剰、等価変分、補償変分は等しくなる。より一般的な効用関数を考えれば、これら三者の値は異なるだろう。しかし、Willig (1976) が示しているように、これらの差は小さいと思われる。特に、データの誤差が避けら

1) 例えば Varian (1992) を見よ。

れない実際の便益評価に関しては、これら三者の差は無視できるだろう。したがって、本稿の分析では、準線形の効用関数を採用し、消費者余剰、等価変分、補償変分の差を無視し、消費者余剰に焦点を当てて、議論を展開することとする。

地域 A と地域 B がルート 1, 2 という 2 つのルートで結ばれている状況を考える。ルート 1 と 2 は同じ種類の交通手段であってもよいし、違う種類の交通手段であってもよい。例えば、ルート 1, 2 とともに一般道路であってもよいし、ルート 1 が一般道路、ルート 2 が鉄道であってもよい。ルート i ($i = 1, 2$) の交通需要を x^i としよう。ここで、このような 2 つのルートだけからなる交通ネットワークを考えるのは、議論を単純化するためである。たくさんのルートが存在する場合の分析は、Kidokoro (2004) で行われているが、本質的な便益の計算方法に違いはない。

代表的消費者の、準線形の効用関数は

$$U = z + u(x^1, x^2) \quad (1)$$

と書くことができる。予算制約線は

$$y = z + p^1 x^1 + p^2 x^2 \quad (2)$$

である。ここで、 y は消費者の所得であり、 p^i はルート i の交通サービスの価格である。(1)を(2)の制約下で最大化すると、通常的需求関数が得られる。

$$x^i = x^i(p^1, p^2) \quad (3)$$

交通サービスの価格を考える際には、それが、金銭的費用と時間費用から構成されていると考えるのが一般的である。このように定義された交通サービスの価格は「一般化価格」や「一般化費用」と呼ばれる。ルート i の一般化価格 p^i は以下のようにかける。

$$p^i = t^i + TC^i(x^i, I^i) \quad (4)$$

ここで、 t^i は、 x^i の金銭的価格である。これは、燃料代、高速道路料金、鉄道運賃に対応する。

$TC^i(x^i, I^i)$ は、 x^i の時間費用であり、 I^i は、ルート i の交通投資である。両ルートとも混雑が起こりうると考える。交通需要が多いほど、時間費用は増加し、交通投資が多いほど、時間費用は減少するとする。すなわち、 $TC_1^i(x^i, I^i) > 0$ かつ $TC_2^i(x^i, I^i) < 0$ である。以降、右下添字 j は、 j 番目の変数に関する偏微分を表すとする。簡単化のために、交通投資 I^i は政府によって決定されるとし、政府が交通投資を行うべきかどうかについて費用便益分析を行う状況を考える。

(3)を(4)に代入して p^i について解くと、均衡価格 $p^i(t^1, t^2, I^1, I^2)$ が得られる。これを需要関数(3)に代入すると、一般均衡需要関数 $\bar{x}^i$ を導出できる。

$$\begin{aligned} \bar{x}^i &\equiv \bar{x}^i(t^1, t^2, I^1, I^2) \\ &= x^i(\bar{p}^1(t^1, t^2, I^1, I^2), \bar{p}^2(t^1, t^2, I^1, I^2)) \end{aligned} \quad (5)$$

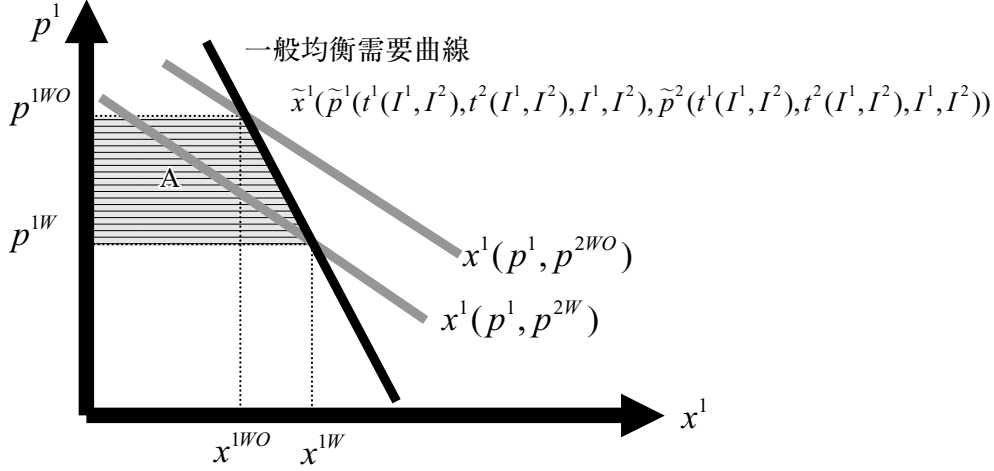
この一般均衡需要関数は達成される均衡の軌跡であり、ルート 1 と 2 の間で起こる一般均衡的变化（代替・補完関係による需要のシフト等）をすべて含んでいる。

それぞれのルートの交通サービスの供給にかかる総費用を $C^i(x^i, I^i)$ とする。この総費用は交通需要の増加関数であり、交通投資の減少関数である、つまり、 $C_1^i(x^i, I^i) > 0$ かつ $C_2^i(x^i, I^i) < 0$ であるとする。交通サービスの供給者は、消費者が支払う金銭的価格を受け取るので、利潤は

$$\begin{aligned} \pi^i &= t^i x^i - C^i(x^i, I^i) \\ &= t^i \bar{x}^i(t^1, t^2, I^1, I^2) \\ &\quad - C^i(\bar{x}^i(t^1, t^2, I^1, I^2), I^i) \end{aligned} \quad (6)$$

となる。航空や鉄道を考えた場合、 π^i は、航空会社や鉄道会社の経済的利潤にあたる。一般道を通る自動車交通では、消費者と一般道サービスを供給する政府が共同で道路交通サービスを供給し、そこから得られる利潤が π^i であると考えればよい。今、一般道を通る自動車交通の社会的金銭的費用（社会的費用で測った燃料費、道路修繕費を含む）が 1 トリップあたり 300

図1 ルート1の消費者余剰の変化



円であるとしよう。また、消費者が支払う金銭的費用は燃料税を含んで500円、時間費用は800円であるとしよう。したがって、消費者は1トリップあたり500+800=1300円を支払うことになる。これが1トリップあたりの一般化価格である。しかし、1トリップあたりの社会的費用は300+800=1100円であるので、1トリップあたり200円の余剰が、税収の増加（政府の利潤の増加）として生じる。税収の増加は最終的には消費者に戻るので、これを消費者が200円の利潤を得ていると解釈してもよい。

x^i の金銭的価格 $\tilde{p}^i$ は、一般的に I^i の関数、つまり、 $\tilde{p}^i = \tilde{p}^i(I^1, I^2)$ と書ける。例えば、平均費用価格形成の場合は $\tilde{p}^i = \frac{C^i(\bar{x}^i(t^1, t^2, I^1, I^2), I^i)}{\bar{x}^i(t^1, t^2, I^1, I^2)}$ より求められる。複占を考えた場合は、 $\tilde{p}^i$ が x^i の関数になるが、この場合でも、 $\tilde{p}^i = \tilde{p}^i(x^1(t^1, t^2, I^1, I^2), \bar{x}^2(t^1, t^2, I^1, I^2))$ より、 $\tilde{p}^i(I^1, I^2)$ と書けることには変わりはない。 $\tilde{p}^i(I^1, I^2)$ を使うと、一般均衡需要関数と均衡価格は、 I^i の関数として、

$$\begin{aligned}\tilde{p}^i &= \tilde{p}^i(I^1, I^2) \\ &= \tilde{p}^i(t^1(I^1, I^2), t^2(I^1, I^2), I^1, I^2)\end{aligned}\quad (7)$$

$$\begin{aligned}\bar{x}^i &= \bar{x}^i(I^1, I^2) \\ &= \bar{x}^i(\tilde{p}^1(t^1(I^1, I^2), t^2(I^1, I^2), I^1, I^2),\end{aligned}$$

$$\tilde{p}^2(t^1(I^1, I^2), t^2(I^1, I^2), I^1, I^2)) \quad (8)$$

とかける。

総余剰は消費者の効用と交通サービスの供給者の利潤の和であり、

$$\begin{aligned}B &= U + \pi^1 + \pi^2 \\ &= y - p^1 x^1 - p^2 x^2 + u(x^1, x^2) + t^1 x^1 \\ &\quad - C^1(x^1, I^1) + t^2 x^2 - C^2(x^2, I^2)\end{aligned}\quad (9)$$

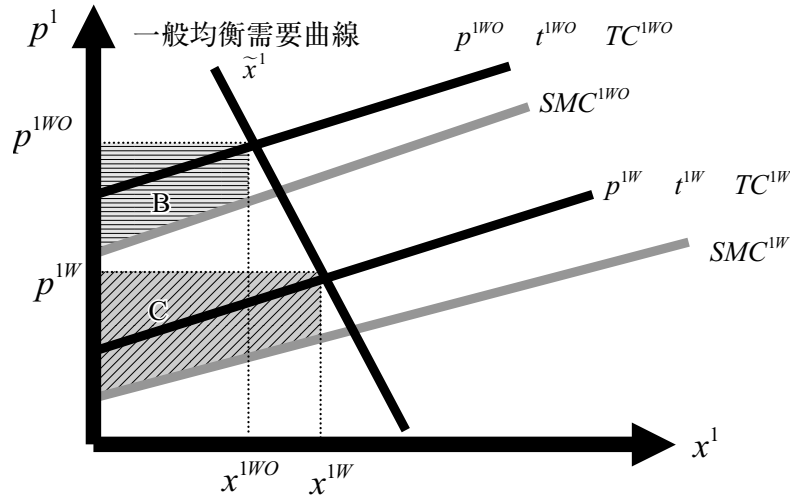
となる。

ルート1の交通投資を I^{1WO} から I^{1W} へ増加する交通プロジェクトを考えよう。（なお、ルート2の交通投資を増加させる場合も全く同様に分析できる。）これ以降、右上添字の WO と W は、それぞれ、「プロジェクトがある場合」と「プロジェクトがない場合」を示すとする。交通投資による総余剰の変化 ΔB は、

$$\begin{aligned}\Delta B &= \int_{p^{1W}}^{p^{1WO}} \bar{x}^1 d\tilde{p}^1 + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\ &\quad + \int_{p^{2W}}^{p^{2WO}} \bar{x}^2 d\tilde{p}^2 \\ &\quad + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1\end{aligned}\quad (10)$$

となる。ここで、 $R^i \equiv t^i(I^1, I^2) \bar{x}^i(I^1, I^2)$ である。(10)の導出は付録で行う。

図2 ルート1の生産者余剰の変化



(10)を解釈してみよう。まずはルート1での変化を考えることから始める。(10)の右辺第一項は、一般均衡需要曲線 $\tilde{x}^1$ で測った消費者余剰の変化を表す。(7)と(8)より、ルート1の交通投資 I^1 が両ルートの一般化価格と交通需要を変化させることがわかる。通常の(マーシャルの)需要関数では、他の市場の所得や価格は一定と仮定されている。したがって、ルート1の交通投資がルート1の一般化価格や交通需要にもたらす変化は、ルート2の一般化価格を固定したマーシャルの需要関数上の変化ではなく、マーシャルの需要関数のシフトとして表現される。図1では、ルート1に関して、プロジェクトがない場合の均衡 (x^{1WO}, p^{1WO}) とある場合の均衡 (x^{1W}, p^{1W}) が別々のマーシャルの需要曲線上にある姿が描かれている。ルート1の一般均衡需要曲線は達成される均衡の軌跡であり、 (x^{1WO}, p^{1WO}) と (x^{1W}, p^{1W}) を通り、ルート2で付随的に起きる変化をすべて考慮に入れている。ルート1の消費者余剰の変化は、この一般均衡需要曲線に沿って測ることができ、図1のAの面積であらわすことができる。

通常交通需要予測²⁾では、他のルートの混雑等を一定と仮定した仮説的な交通需要ではな

く、プロジェクトがある場合とない場合の実際の交通需要が予測される。したがって、通常の交通需要予測は、マーシャルの需要曲線を求めているというより、一般均衡需要曲線を求めていると解釈できる。プロジェクトがある場合とない場合の実際の交通需要をつなぐことによって、一般均衡需要曲線を表現することができる。

(10)の右辺第二項は、ルート2の利潤の変化である。ルート i の社会的費用を $SC^i(x^i, I^i) \equiv C^i(x^i, I^i) + TC^i(x^i, I^i)x^i$ と定義しよう。ルート i の社会的限界費用は $SMC^i \equiv SC^i_1$ となる。ルート1の利潤の変化は、ルート1の生産者余剰の変化として、

$$\begin{aligned}\pi^1 &= R^1 - C^1 = (t^1 + TC^1)x^1 - (C^1 + TC^1x^1) \\ &= p^1x^1 - \int SMC^1 dx^1\end{aligned}\quad (11)$$

とかける。これは、図2で、Cの面積からBの面積を引いたものに対応している³⁾。

次にルート2の変化を考えよう。(10)の右辺第三項は、ルート2の消費者余剰の変化を表している。ルート1と同様、この変化を一般均衡需要曲線上の変化として計算することができる。図3では、ルート1の交通投資により、ルート2の交通需要がシフトし、混雑が減って、ルー

2) 例えば、Oppenheim (1995) や Ortuzar and Willumsen (2001) を見よ。

3) 図2では、図の簡化のために、一般化価格が社会的費用を上回る場合を描いているが、他の場合であっても同様に分析することができる。

図3 ルート2の消費者余剰の変化

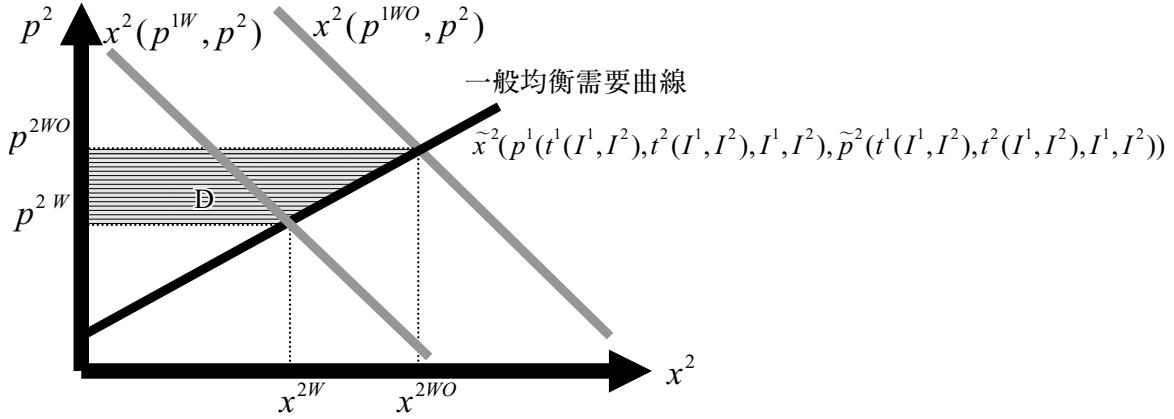
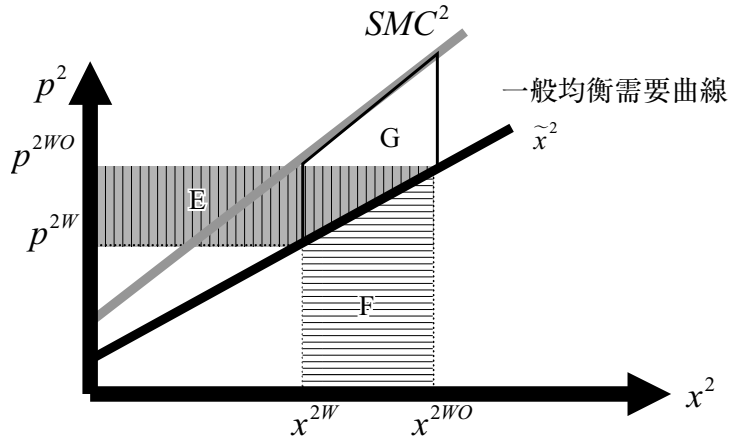


図4 ルート2の生産者余剰の変化



ト2の一般化価格が低下する場合が描かれている。(ルート1がルート2に与える影響は、他にも様々な場合があるが同様に分析できる。)ルート2の消費者余剰の変化は、一般均衡需要曲線上の変化として推計することができ、これは、図3のDの面積になる。

(10)の右辺第四項は、ルート2の利潤の変化を示す。(11)の関係はルート2に対しても成立するため、ルート2の利潤の変化はルート2の生産者余剰の変化に等しい。これは、ルート2に関する消費者の総支払額の変化からルート2の総費用の変化を引いたものとして表現することができる。図4で、消費者の総支払額の減少がEとFの面積の合計であり、総費用の減少がFとGの面積の合計である。したがって、ルー

ト2の生産者余剰の変化はGの面積からEの面積を引いたものになる⁴⁾。

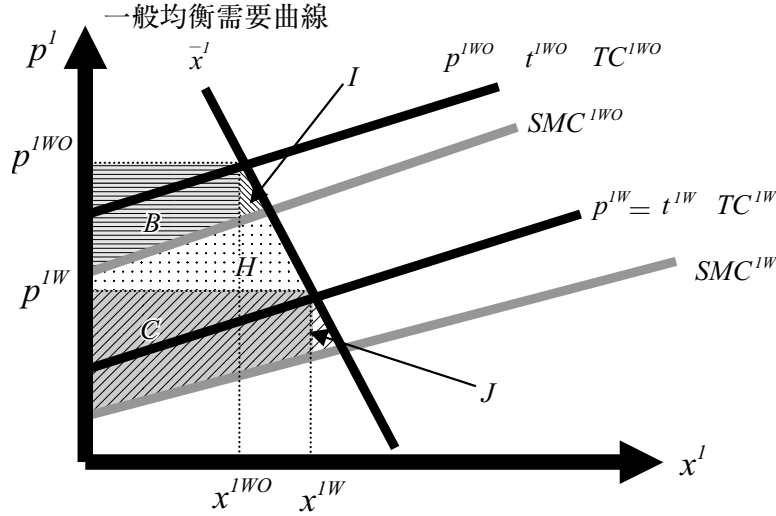
ルート2で起きる変化は、(10)の右辺第三項と第四項を以下のようにまとめて以下のように変形すると、より容易に理解できる。

$$\Delta B = \int_{p^{1W}}^{p^{1WO}} \tilde{x}^1 d\tilde{p}^1 + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} dI^1 + \int_{x^{2WO}}^{x^{2W}} (\tilde{p}^2 - SMC^2) d\tilde{x}^2 \quad (12)$$

((12)の導出は付録で行う。)図3と図4より、ルート2で生じる変化は、消費者余剰の変化(Dの面積)と生産者余剰の変化の合計(Gの面積-Eの面積)であるが、Dの面積とEの面積は等しいので、最終的にはGの面積になること

4) -Eの面積-Fの面積-(-Fの面積-Gの面積)=Gの面積-Eの面積

図5 ルート1のファーストベストの総余剰と死重損失の変化



がわかる。Gの面積は、(12)の右辺第三項に該当し、ルート2の死重損失の変化を示す。この死重損失は、社会的限界費用と一般化価格が乖離することから生じている。一般的には、投資がなされなかったルートの変化は、死重損失の変化だけになる。この結果は、Bodway and Bruce (1984) が示した、歪みがある経済における便益評価を応用したものになっている。

ルート1で起きる変化から、死重損失の変化を分離することもできる。つまり、(12)は

$$\Delta B = \int_{p^{IW}}^{p^{IWO}} SC_2^1 dI^1 + \int_{x^{IWO}}^{x^{IW}} (p^1 - SMC^1) dx^1 + \int_{x^{IWO}}^{x^{IW}} (\tilde{p}^2 - SMC^2) dx^2 \quad (13)$$

と変形することができる。(13)の導出は付録で行う。) (13)の右辺第二項は、ルート1で生じる死重損失の変化であり、右辺第三項はルート2で生じる死重損失の変化である。もし、価格と限界費用が等しいファーストベスト経済を考えるのであれば、これらの項はゼロとなり、右辺第一項だけが残る。したがって、右辺第一項は、ファーストベストの場合の総余剰の変化に対応

している。図5で、ファーストベストの場合の総余剰の変化は、社会的限界費用曲線 SMC^1 のシフトがもたらす総余剰の変化なので、C+H+Jの面積になる。ルート1で生じる死重損失の変化はJの面積からIの面積を引いたものである。これらを加えると、ルート1で生じる変化はC+H+Iの面積になる⁵⁾。ここで、図1のAの面積がB+H+Iの面積になることに注意すれば、C+H+Iの面積は、A+C-Bの面積になり⁶⁾、ルート1のファーストベストの場合の総余剰の変化と死重損失の変化の合計が消費者余剰の変化(Aの面積)と生産者余剰の変化(C-Bの面積)の合計に等しいことが確かめられる。ルート2で生じる死重損失の変化については、(12)と同様、図4のGになる。

(10), (12), (13)をまとめると、総余剰の合計は

- 1 ルート1の消費者余剰の変化
+ ルート1の生産者余剰の変化
+ ルート2の消費者余剰の変化
+ ルート2の生産者余剰の変化
- 2 ルート1の消費者余剰の変化
+ ルート1の生産者余剰の変化
+ ルート2の死重損失の変化

5) Cの面積+Hの面積+Jの面積-(Jの面積-Iの面積)=Cの面積+Hの面積+Iの面積

6) Cの面積+Hの面積+Iの面積=Cの面積+(Aの面積-Bの面積-Iの面積)+Iの面積
=Aの面積+(Cの面積-Bの面積)

3 ファーストベストのルート1の総余剰の変化

+ ルート1の死重損失の変化

+ ルート2の死重損失の変化

のように3通りの方法でかけることがわかる。

本稿では、簡単化のために、2つのルートがある場合を念頭において議論を展開しているが、Kidokoro (2004) が示しているようにこの結果は任意のルートがある交通ネットワークに容易に拡張することができる。その場合は、以下のようになる。

1' すべてのルートの消費者余剰の変化の合計

+ すべてのルートの生産者余剰の変化の合計

2' 投資が行われたルートの消費者余剰の変化

+ 投資が行われたルートの生産者余剰の変化

+ それ以外のルートの死重損失の変化の合計

3' 投資が行われたルートのファーストベストの総余剰の変化

+ すべてのルートの死重損失の変化の合計

以上の3つの方法は、どの方法を用いても必ず同一の値をもたらすので、便益を実際に計算するときにはどの方法を用いてもよいし、複数の方法で便益を計算することによって得られた便益が正しいかどうかをチェックすることもできる。ここで、3や3'の方法の有用性について補足しておきたい。現実の費用便益分析では、ファーストベストの総余剰の変化を求めるのは困難なので、3や3'の方法は実務的な有用性に乏しいと思われるかもしれない。しかし、3や3'の方法は、理論的に理解しやすいだけでなく、ファーストベストの総余剰の変化がゼロである場合には、非常に実用的である。このことを次の例で考えてみよう。今、各ルートの金銭的費用は政府によって規制されている、つま

り、 $\bar{t}^i(I^1, I^2) = \bar{t}^i$ であるとしよう。この場合に、あるルートにおいて、この金銭的費用を引き下げを考える。鉄道運賃や高速道路料金の値下げを念頭に置けばわかりやすいだろう。この場合の総余剰の変化は、

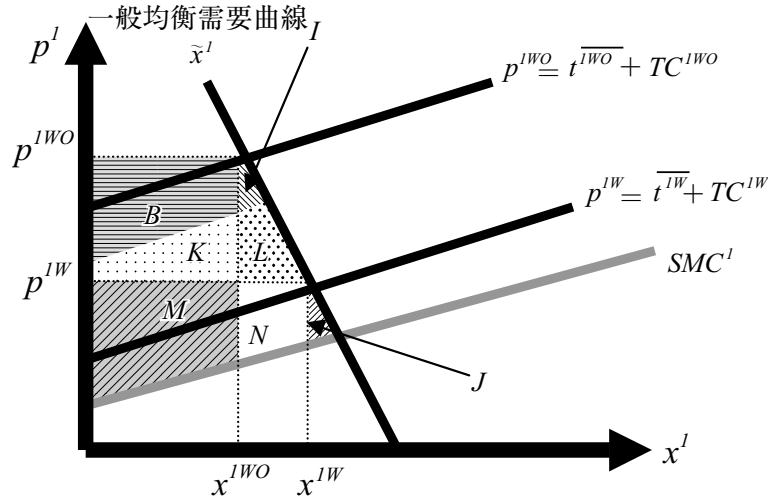
$$\Delta B = \int_{x^{1wo}}^{x^{1w}} (\bar{p}^1 - SMC^1) dx^1 + \int_{x^{2wo}}^{x^{2w}} (\bar{p}^2 - SMC^2) dx^2 \quad (14)$$

となる。(14)の導出は付録で行うが、この結果は、3や3'の方法より直観的に理解できる。金銭的費用だけが変化する場合は、社会的限界費用曲線がシフトしないためファーストベストの総余剰の変化はゼロである。したがって、総余剰の変化は、死重損失の変化だけになることがわかる。つまり、社会的限界費用曲線がシフトしない場合は、3や3'の方法を応用すれば、死重損失の変化だけを計算することで、総余剰を計算することができることになり、計算は簡略化される。

図解して考えてみよう。ルート2で起きる変化が死重損失の変化だけになることについては、ルート1に交通投資を行う場合と同様である。したがって、図4と同様の図が描け、ルート2の死重損失の変化がGの面積で表される。ルート1で起きる変化は、図6で、消費者余剰の変化が、B+I+K+Lの面積であり、生産者余剰の変化が、M+N-(B+K+M)の面積なので、I+L+Nの面積となる。しかし、I+L+Nの面積は、ルート1の死重損失の変化を表している⁷⁾。このように、総余剰の変化が死重損失の変化の合計になることが図解でも確かめられる。

7) ルート1の死重損失の変化 = -Jの面積 - (-Iの面積 - Jの面積 - Lの面積 - Nの面積)
= Iの面積 + Lの面積 + Nの面積

図6 ルート1の金銭的交通費用の変化



Ⅲ．基本モデルの便益評価はすべての便益をとらえているか？

Ⅱ節で述べた基本モデルの便益評価方法はすべての便益を捕捉しているだろうか？この問題の答えは、Mohring (1976) や金本 (1996) の分析から明らかであるが、十分に理解されているとは言い難いと思われるので、ここでもう一度整理しておくことにしよう。

例として、道路投資を考える。道路投資は、交通量を変化させるだけでなく、様々な効果をもたらすことは疑いない。新しく建設された道路の周りには、大型店が立ち並び賑わうというのは、われわれが日常目にする光景である。問題は、このような一種の開発効果をどのように計測するかということである。Ⅱ節の基本モデルでは、ルート1の交通量が x^1 、ルート2の交通量が x^2 であったが、ここで、追加的に、ルート1沿線でのある商品の販売量 x^3 、ルート2沿線でのある商品の販売量 x^4 を考慮することにしよう。（「ある商品」は缶コーヒーであっても電気洗濯機であってもよい。）ルート1に道路投資をすると考え、Ⅱ節で求めた2'を応用すると、この場合の総余剰の変化は

ルート1の消費者余剰の変化

+ ルート1の生産者余剰の変化

+ ルート2の死重損失の変化

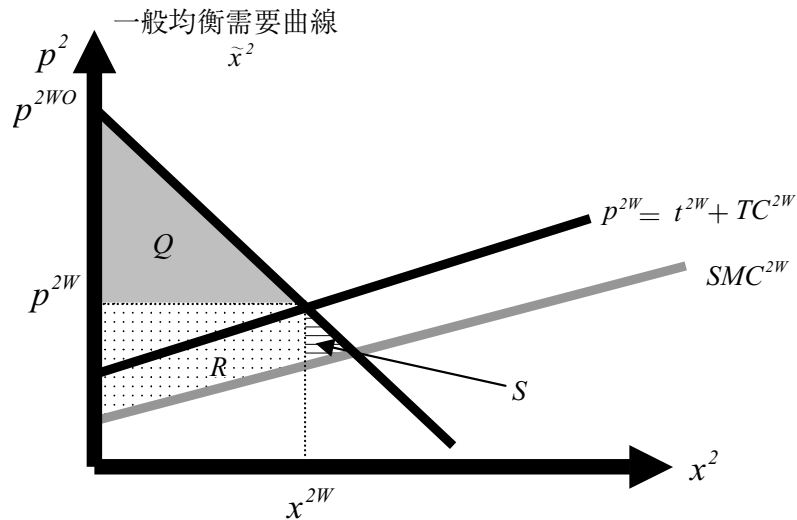
+ ルート1沿線でのある商品の販売に関する死重損失の変化

+ ルート2沿線でのある商品の販売に関する死重損失の変化

となる。したがって、追加的に考慮すべきなのは、ルート1沿線でのある商品の販売に関する死重損失の変化とルート2沿線でのある商品の販売に関する死重損失の変化である。

もし、ルート1、2沿線でのある商品の販売が完全に競争的であり、価格と限界費用が等しい状況であれば、ルート1、2沿線でのある商品の販売に関する死重損失の変化はゼロであるので、付け加えるべき便益の変化はゼロである。現実的に考えるために、ルート1を郊外に整備される幹線道路、ルート2を旧市街地を通る道路とし、ルート1沿線には大型店が進出し、ルート2沿線には商店街があるとしよう。大型店も商店街の店舗も厳しい競争にさらされており価格と限界費用が等しいなら、大型店や商店街でおきる変化を考慮する必要はない。大型店で

図7 ルート2が新規に開設される場合



も、商店街でも（経済学的な）利潤は生じないので、大型店や商店街でのある商品の販売から得られる社会的な便益は常にゼロである。

もし、ルート1、2沿線でのある商品の販売が完全に競争的でないとしても、追加的に加算するのは、死重損失の変化だけという点は十分に注意する必要がある。ルート1の整備によって、大型店での、ある商品の販売が増加し、利潤も増加したとしよう。しかし、裏側では、ルート2沿線の商店街での、ある商品の販売が減少し、利潤も減少していよう。これらを加えると、追加的に加算すべき便益はかなり小さくなると予想される。

国土交通省の「2004道路整備効果事例集」(<http://www.mlit.go.jp/road/koka4/index.html>)では、道路整備の効果として、「農水産業の振

興」「産業の振興」「地域の振興」という項目も挙げられており、事例としては、道路の開通で観光客が増加したといったことが報告されている。しかし、これは非常に誤解を招きやすい表現と言える。「道路の開通で観光客が増加した」ということが事実であったとしても、それは、死重損失の変化という観点で慎重に検討する必要がある。仮に、価格と限界費用が等しくない場合を考えていたとしても、他の観光地の観光客が減少したことによる死重損失の変化を加えたら、「道路の開通で観光客が増加した」という効果はかなり程度相殺されるだろう。道路等の交通投資が様々な効果を生むということと、それらを明示的に考慮すべきかどうかというのは別の問題であるので、その点は便益評価の際に十分に注意する必要がある⁸⁾。

IV. 基本モデルの弱点

Ⅱ節の基本モデルはすべての交通投資の便益評価に適用できる。また、時間費用を含んだ一

般化価格を単なる「価格」に置き換えれば、交通投資以外の便益評価にそのまま適用できる。

8) 現実には、「2004道路整備効果事例集」の「農水産業の振興」「産業の振興」「地域の振興」といった項目は、道路投資の費用便益分析のマニュアルである国土交通省（2003）では追加的な便益として計算されていないが、この点では、国土交通省（2003）は正しい。

しかし、Ⅱ節のモデルは実務上適用が困難な場合がある。以下でこの点を説明しよう。

ある交通プロジェクトにより、ルート2が新設されるとする。プロジェクトがない場合は、ルート1しか利用できないが、プロジェクトがある場合は、ルート1と2の両方が利用可能となる。この場合に、Ⅱ節で求めた1や2の方法を適用するには、ルート2では、消費者余剰の変化と生産者余剰の変化を求めることが必要となる。図7で、消費者余剰の変化は、Qの面積に該当し、生産者余剰の変化はRの面積に該当する。ここで、Qの面積を実務上どのようにして求めるかが問題になる。ルート2が新設でない場合、消費者余剰の変化は図1のAの面積のようになる。線形近似による誤差を除けば、

Aの面積は、台形の面積なので、これは簡単に計算できるだろう。ルート2が新設の場合、消費者余剰の変化はQの面積のように三角形で近似できることになるが、ルート2が存在しない場合の一般化価格 p^{2WO} がわからなければ、この三角形の面積は計算できない。通常交通需要予測では、プロジェクトがない場合の一般化価格は求められないため、ルート2の消費者余剰を求めることは、実務上、困難である⁹⁾。このような実務上の問題点は、結局、一般均衡需要曲線を全域にわたって推定することが難しいことに起因しており、Ⅱ節で述べた基本モデル自体の問題ではない。しかし、この欠点は、基本モデルを実際の便益評価に用いる際に非常に大きな制約となっている。

V. 基本モデルの特殊ケース

この節では、実務でよく用いられる2つのケースを考える。1つは、2つのルートの交通量がWardropの第一原則を満たす場合であり、もう1つは、2つのルートの交通量がロジットモデルに従う場合である。本稿では、前者をWardropモデル、後者をロジットモデルと呼ぶ。後述するように、Wardropモデルやロジットモデルでは、Ⅳ節で述べた基本モデルの欠点は解消されることになる。

V-1. Wardropモデル

Wardropの第一原則とは、Wardrop(1952)で示された、「利用されている各経路の所要時間はすべて等しく、それは利用されていない経路の所要時間より小さいか、せいぜい等しい」というものである。この場合は、消費者は、各

経路の時間だけを考慮して、どの経路を通るのかを選択することになる。実際には、消費者にとって時間費用だけではなく、運賃や燃料代と言った金銭的費用も重要である。したがって、ここでは、Wardropの第一原則を若干修正し、「利用されている各経路の一般化価格はすべて等しく、それは利用されていない経路の一般化価格より小さいか、せいぜい等しい」と考えよう。

このようなWardropの第一原則は、交通経済学で伝統的な「交通需要は派生需要である」という考え方と整合的である。つまり、消費者は、交通サービスを消費するのが目的ではなく、どこかへ行ったり商品を運んだりするために、交通サービスを消費するという考え方である。交通サービス自体を消費することが目的でない

9) Ⅱ節の3の方法を応用する場合、ファーストベストの場合の総余剰の変化(図7のQ+R+S)が必要になるが、プロジェクトがない場合の一般化価格がわからなければ、ファーストベストの場合の総余剰の変化も求められない。したがって、Ⅱ節の3の方法を用いても、ルート2が新設される場合の便益計算が可能となるわけではない。

ので、最も一般化価格が低い経路が選択されることになる。

交通需要が派生需要であると考え、Wardropの第一原則が成立すると考えると、効用関数は、

$$U = z + u(x^1 + x^2) \quad (15)$$

となる。(15)では、A-B間の総交通需要 $x^1 + x^2$ だけが、部分効用 u の決定に意味を持つ。ルート1と2は完全に代替的になり、より一般化価格の低いルートが選択される。(両ルートの一般化価格が等しいときには両ルートが選択される。)つまり、 $p^1 = p^2$ なら、両ルートが、 $p^1 > p^2$ ならルート2だけが、 $p^1 < p^2$ ならルート1だけが利用されることになる。したがって、A-B間の一般化価格は $p \equiv \min(p^1, p^2)$ と定義される。この効用関数で表現されるモデルは、Wardropの第一原則と整合的であるため、Wardropモデルと呼ぶ。

Wardropモデルでは、A-B間の総交通需要だけが部分効用 u の決定に意味を持つので、ルート1の交通投資が I^{1WO} から I^{1W} へ変化したときの総余剰の変化は

$$\begin{aligned} \Delta B = & \int_{p^w}^{p^{wo}} (\bar{x}^1 + \bar{x}^2) d\bar{p} \\ & + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\ & + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \quad (16) \end{aligned}$$

となる。(16)の導出は付録で行う。) (16)の右辺第一項はA-B間の消費者余剰の変化であり、ルート1とルート2の消費者余剰の変化の合計を与えている。右辺第二項と第三項は、それぞれ、ルート1とルート2の生産者余剰の変化である。

Wardropモデルの効用関数(15)は、II節で考え

た基本モデルの効用関数(1)の特殊ケースになっていることが、両効用関数を比較することでわかる。このことは、総余剰の変化は、基本モデルと同様の形でも表現できることを意味する。つまり、(16)は、

$$\begin{aligned} \Delta B = & \int_{p^w}^{p^{wo}} \bar{x}^1 d\bar{p} + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\ & + \int_{p^w}^{p^{wo}} \bar{x}^2 d\bar{p} + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \quad (17) \end{aligned}$$

と変形できる。(さらに(12)や(13)の形に変形することもできる。) (17)は、ルート1と2の一般化価格が p^1 、 p^2 ではなく、 $p \equiv \min\{p^1, p^2\}$ となっていることを除けば、(10)と同様の形式になっている¹⁰⁾。ルート1と2の一般化価格が共通に $p \equiv \min\{p^1, p^2\}$ となっていることは、新規にルートを整備する場合の便益評価において威力を発揮する。今、ルート1が存在しているルートで、ルート2が新設されるルートであるとしよう。プロジェクトがない場合、ルート2の一般化価格は無限大であると考えられるが、その場合は、 $p = p^1 < p^2 = \infty$ なので、ルート1の一般化価格がA-B間の一般化価格になる。したがって、ルート1の一般化価格を使って、ルート2の消費者余剰の変化を計算できる。プロジェクトがある場合、ルート1と2は完全に代替的なので、両ルートが利用される場合は、 $p = p^1 = p^2$ である。(もちろん、新設のルート2だけが利用されるのであれば $p = p^2 < p^1$ となる。) 以上のように、Wardropモデルでは、実際に観察される一般化価格だけを用いて消費者余剰の変化を計算できる。この性質は、現実の便益評価においては非常に有用である。

プロジェクトがある場合とない場合で総交通

10) Wardropモデルでも、基本モデルと同様の図が描ける。しかし、2点に注意する必要がある。第一に、両ルートが利用されているなら、両ルートの一般化価格は等しくなければならない。第二に、一方のルートだけが利用されているなら、もう一方のルートの交通需要は、利用されているルートの一般化価格でゼロでなければならない。

需要が変化しないとき、Wardrop モデルの総余剰の変化は

$$\Delta B = \int_{I^{IW}}^{I^{IWO}} \left\{ \frac{dSC^1}{dI^1} + \frac{dSC^2}{dI^1} \right\} dI^1 \quad (18)$$

となる。(18)の導出は付録で行う。) (18)は、総余剰の変化が総社会的費用の変化と一致することを示している。このように、総交通需要がプロジェクトにより変化しないとみなせるならば、Wardrop モデルのもとでの便益評価はさらに簡単になる。

以上のように、Wardrop モデルは、実務上便利な性質を持つが、各ルートが完全代替であるという仮定は Arnott and Yan (2000) が指摘しているように非常に強いものであることに注意する必要がある。例えば、東京－大阪間の移動は、新幹線でも飛行機でも可能である。Wardrop モデルは、航空運賃がわずかでも低下するなら、他の条件が一定で容量制約がない場合、全員が飛行機を利用するという結果を出す。消費者が異質であることを仮定すれば、このような非現実的な結論は起こらないであろう。しかし、1種類の代表的消費者しか存在しないモデルでは、完全代替の仮定は非現実的な結論をもたらしかねないということに十分注意する必要がある。

V-2. ロジットモデル

ロジットモデルは、離散選択モデルを交通需要予測に応用したものである。以下では、ロジットモデルは、II節で説明した基本モデルの特殊ケースにあたること、ロジットモデルの下ではIV節で述べた基本モデルの欠点を回避できることを中心に見ていく。

今、 X 人の消費者が存在するとしよう。消費者1人1人が「旅行しない」「ルート1で旅行する」「ルート2で旅行する」から1つを選択する。「旅行しない」という選択肢があるので、A-B間の全交通需要、つまり、ルート1

とルート2の交通量の合計は、IV節の基本モデル同様変化しうる。各選択肢の確定的効用を $v^0 = 0, v^1 = \alpha - \beta p^1, v^2 = \alpha - \beta p^2$ とする。ここで、 $\alpha \geq 0$ かつ $\beta > 0$ である。また、「旅行しない」という選択肢をルート0とする。以下の分析では、 α と β はすべての消費者に共通であると仮定する。ロジットモデルでは、各選択肢の誤差項 $\varepsilon^k (k=0, 1, 2)$ はガンベル分布 $F(\varepsilon^k) = \exp \left\{ -\exp \left(-\frac{\varepsilon^k}{\mu} \right) \right\}$ ($\mu > 0$ はスケールパラメーターと呼ばれる) に従うと仮定される。各選択肢の需要は、各選択肢が選択される確率¹¹⁾に消費者数をかけたものになり、以下のようになる。

$$x^0 = X \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp \left(\frac{v^i}{\mu} \right) + 1 \right\}^{-1} \quad (19)$$

$$x^1 = X \exp \left(\frac{v^1}{\mu} \right) \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp \left(\frac{v^i}{\mu} \right) + 1 \right\}^{-1} \quad (20)$$

$$x^2 = X \exp \left(\frac{v^2}{\mu} \right) \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp \left(\frac{v^i}{\mu} \right) + 1 \right\}^{-1} \quad (21)$$

Williams (1977), Small and Rosen (1981), Anderson et al. (1992) より、ルート1の交通投資が増加したときの消費者余剰の変化 ΔCS は、

$$\Delta CS = \frac{\mu X}{\beta} \left[\ln \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp \left(\frac{v^{iW}}{\mu} \right) + 1 \right\} - \ln \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp \left(\frac{v^{iWO}}{\mu} \right) + 1 \right\} \right] \quad (22)$$

となる。なお、 $\ln \{ \cdot \}$ の部分はしばしば、ログサム項と呼ばれる。

以上のようなロジットモデルは、Anderson et al. (1992) を応用すると、以下の代表的消費者の効用最大化問題 (M1) から導くことができる。

11) ロジットモデルにおける各選択肢の選択確率に関しては、例えば、Train (2003) を見よ。

(M1)

$$\max_{\{z, x^0, x^1, x^2\}} U = z + \frac{\alpha}{\beta}(x^1 + x^2) - \frac{\mu}{\beta} \left(x^0 \ln \frac{x^0}{X} + x^1 \ln \frac{x^1}{X} + x^2 \ln \frac{x^2}{X} \right)$$

$$\text{s.t. } y = z + p^1 x^1 + p^2 x^2 \\ x^0 + x^1 + x^2 = X$$

(M1) を解くと、

$$x^0 = X \frac{1}{\exp\left(\frac{\alpha - \beta p^1}{\mu}\right) + \exp\left(\frac{\alpha - \beta p^2}{\mu}\right) + 1} \quad (23)$$

$$x^1 = X \frac{\exp\left(\frac{\alpha - \beta p^1}{\mu}\right)}{\exp\left(\frac{\alpha - \beta p^1}{\mu}\right) + \exp\left(\frac{\alpha - \beta p^2}{\mu}\right) + 1} \quad (24)$$

$$x^2 = X \frac{\exp\left(\frac{\alpha - \beta p^2}{\mu}\right)}{\exp\left(\frac{\alpha - \beta p^1}{\mu}\right) + \exp\left(\frac{\alpha - \beta p^2}{\mu}\right) + 1} \quad (25)$$

を得る。ここで、 $v^1 = \alpha - \beta p^1$ と $v^2 = \alpha - \beta p^2$ を (23) から (25) に代入すると (19) から (21) が得られる。つまり、効用最大化問題 (M1) は、ロジットモデルと同じ需要関数を導くことがわかる。(23) から (25) を (M1) の効用関数に代入して整理すると、支出関数が得られる。

$$e(v^1, v^2, U) = U - \frac{\mu X}{\beta} \ln \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp\left(\frac{v^i}{\mu}\right) + 1 \right\} \quad (26)$$

この支出関数を用いて消費者余剰の変化を計算すると

$$\Delta CS = e(v^{1WO}, v^{2WO}, U) - e(v^{1W}, v^{2W}, U)$$

$$= \frac{\mu X}{\beta} \left[\ln \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp\left(\frac{v^{iW}}{\mu}\right) + 1 \right\} - \ln \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp\left(\frac{v^{iWO}}{\mu}\right) + 1 \right\} \right] \quad (27)$$

となるが、これは (22) に一致する。

(M1) の効用関数を (1) と比較すれば、ロジットモデルが IV 節で述べた基本モデルの特殊ケースにあたることがわかる。このことは、(10) による便益計算が、ロジットモデルの場合でも有効であることを意味する。このことを確かめよう。(22), (27) で求めた消費者余剰の変化は下記のような形に整理することもできる。

$$\begin{aligned} \Delta CS &= \int_{I^{1W}}^{I^{1WO}} \frac{de(v^1, v^2, U)}{dI^1} dI^1 \\ &= \int_{I^{1W}}^{I^{1WO}} \left(\frac{\partial e}{\partial v^1} \frac{\partial v^1}{\partial p^1} \frac{\partial p^1}{\partial I^1} + \frac{\partial e}{\partial v^2} \frac{\partial v^2}{\partial p^2} \frac{\partial p^2}{\partial I^1} \right) dI^1 \\ &= \frac{\mu X}{\beta} \int_{I^{1W}}^{I^{1WO}} \left[\frac{-\frac{\beta}{\mu} \exp\left(\frac{v^1}{\mu}\right)}{\sum_{i=1}^2 \exp\left(\frac{v^i}{\mu}\right) + 1} \frac{\partial p^1}{\partial I^1} \right. \\ &\quad \left. + \frac{-\frac{\beta}{\mu} \exp\left(\frac{v^2}{\mu}\right)}{\sum_{i=1}^2 \exp\left(\frac{v^i}{\mu}\right) + 1} \frac{\partial p^2}{\partial I^1} \right] dI^1 \\ &= \int_{p^{1W}}^{p^{1WO}} \bar{x}^1 d\bar{p}^1 + \int_{p^{2W}}^{p^{2WO}} \bar{x}^2 d\bar{p}^2 \end{aligned} \quad (28)$$

ここで、 $\int_{p^{1W}}^{p^{1WO}} \bar{x}^1 d\bar{p}^1$ は、(10) の右辺第一項にあたり、ルート 1 の消費者余剰の変化をあらわす。同様に、 $\int_{p^{2W}}^{p^{2WO}} \bar{x}^2 d\bar{p}^2$ は (10) の右辺第三項にあたり、ルート 2 の消費者余剰の変化をあらわす。(22) と (28) より、ログサム項の変化より消費者余剰の変化を求める方法は、すべてのルートの消費者余剰の変化を合計することに対応することがわかる。

生産者余剰の変化も考慮すると、ロジットモデルの場合の総余剰の変化は

$$\begin{aligned}
 \Delta CS = & \frac{\mu X}{\beta} \left[\ln \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp \left(\frac{v^{iW}}{\mu} \right) + 1 \right\} \right. \\
 & \left. - \ln \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp \left(\frac{v^{iWO}}{\mu} \right) + 1 \right\} \right] \\
 & + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\
 & + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\
 = & \int_{p^{1W}}^{p^{1WO}} \tilde{x}^1 d\tilde{p}^1 + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\
 & + \int_{p^{2W}}^{p^{2WO}} \tilde{x}^2 d\tilde{p}^2 + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \quad (29)
 \end{aligned}$$

となる。もちろん、さらに変形して(12)や(13)の形を導出することもできる。

ロジットモデルが、特殊な効用関数を持つ代表的消費者の効用最大化問題 (M1) に変形できることは、ロジットモデルでは、IV節の基本モデルや通常の経済理論分析と異なり、効用関数を特定化していることを意味する。このような効用関数の特定化は、新設のルートが開設されたときの便益評価に威力を発揮する。これまでの例と同様、ルート2が新規に整備されるルートであるとしよう。プロジェクトがない場合、ルート2は存在しないので、ルート2を使ったときの時間は無限大であると考えよう。この場合、ルート2の一般化価格は無限大となり、その結果、 $v^{2WO} = -\infty$ となる。 $v^{2WO} = -\infty$ のとき、 $\exp \left(\frac{v^{2WO}}{\mu} \right) = 0$ であるので、プロジェクトがない場合のルート2の一般化価格は、(22)で消費者余剰の変化を計算する際に影響を与えない。つまり、ロジットモデルでは、新規に整備されるルートの一般化価格をどのように計算すればよいかという問題を回避できるのである。

ガンベル分布の分散は $\frac{(\mu\pi)^2}{6}$ であるが、これ

は、 μ が大きいほど分布が広くなることを意味している。 μ がゼロに近づけば、ガンベル分布の分散はゼロに近づき、確率的誤差項 ε^k の影響は消滅する。 $\mu \rightarrow 0$ のとき、ロジットモデルは、Wardropモデルの特殊ケースになる。このことは、効用最大化問題 (M1) の効用関数で $\mu \rightarrow 0$ とすることで確かめられる。

ロジットモデルは、II節の基本モデルの特殊ケースにあたるので、基本モデルの便益評価法をそのまま用いることができるという結論は、ロジットモデルをより一般的なGEV (Generalized Extreme Value) モデルに拡張しても成立する。完全なGEVモデルの分析は付録に譲り、ここでは、GEVモデルの中で最もよく用いられるネステッド (入れ子型) ロジットモデルについて分析することにした。

消費者は、最初に、「旅行する」か「旅行しない」かを選択し、「旅行する」を選択したら、その次に、「ルート1で旅行する」か「ルート2で旅行する」かを選択する。ネステッドロジットモデルでは、誤差項 $\varepsilon^0, \varepsilon^1, \varepsilon^2$ は、以下のような多変量確率分布関数に従うと仮定される。

$$\begin{aligned}
 F \left(\varepsilon^0, \varepsilon^1, \varepsilon^2 \right) = & \exp \left[- \left\{ \exp \left(- \frac{\varepsilon^0}{\mu\mu^0} \right) \right\}^{\mu^0} \right. \\
 & \left. - \left\{ \exp \left(- \frac{\varepsilon^1}{\mu\mu^1} \right) + \exp \left(- \frac{\varepsilon^2}{\mu\mu^1} \right) \right\}^{\mu^1} \right] \quad (30)
 \end{aligned}$$

ここで、 $0 \leq \mu^0 \leq 1$ かつ $0 \leq \mu^1 \leq 1$ である。ネステッドロジットモデルでの需要関数¹²⁾は

$$x^0 = X \left[\left\{ \sum_{i=1}^2 \exp \left(\frac{v^i}{\mu\mu^1} \right) \right\}^{\mu^1} + 1 \right]^{-1} \quad (31)$$

$$\begin{aligned}
 x^1 = & X \exp \left(\frac{v^1}{\mu\mu^1} \right) \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp \left(\frac{v^i}{\mu\mu^1} \right) \right\}^{\mu^1-1} \\
 & \times \left[\left\{ \sum_{i=1}^2 \exp \left(\frac{v^i}{\mu\mu^1} \right) \right\}^{\mu^1} + 1 \right]^{-1} \quad (32)
 \end{aligned}$$

12) ネステッドロジットモデルの選択確率については、Train (2003) を見よ。

$$\begin{aligned} x^2 &= X \exp\left(\frac{v^2}{\mu\mu^1}\right) \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp\left(\frac{v^i}{\mu\mu^1}\right) \right\}^{\mu^1-1} \\ &\times \left[\left\{ \sum_{i=1}^2 \exp\left(\frac{v^i}{\mu\mu^1}\right) \right\}^{\mu^1} + 1 \right]^{-1} \end{aligned} \quad (33)$$

となる。Verboven (1996) を応用すると、(31)から(33)は、下記の効用最大化問題 (M2) の解として求めることもできる。

(M2)

$$\begin{aligned} \max_{\{z, x^0, x^1, x^2\}} \quad & U = z + \frac{\alpha}{\beta} (x^1 + x^2) \\ & - \frac{\mu}{\beta} \left\{ x^0 \ln\left(\frac{x^0}{X}\right) + x^1 \ln\left(\frac{x^1 + x^2}{X}\right) \left(\frac{x^1}{x^1 + x^2}\right)^{\mu^1} \right. \\ & \left. + x^2 \ln\left(\frac{x^1 + x^2}{X}\right) \left(\frac{x^2}{x^1 + x^2}\right)^{\mu^1} \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } y &= z + p^1 x^1 + p^2 x^2 \\ x^0 + x^1 + x^2 &= X \end{aligned}$$

$\mu^1 = 1$ のとき、(M2) の効用関数は、(M1) の効用関数と一致する。すなわち、ロジットモデルに対応する代表的消費者の効用関数はネステイドロジットモデルに対応する代表的消費者の効用関数の特殊ケースであることがわかる。ネステイドロジットモデルはロジットモデル同様、 $\mu \rightarrow 0$ のとき、Wardrop モデルの特殊ケースにもなる。さらに、効用最大化問題 (M2) は、ネステイドロジットモデルは、II 節で説明した基本モデルの特殊ケースでもあることを示している。したがって、基本モデルの便益計算法をそのまま用いることができる。この点を以下で明らかにしよう。

(30)から(32)を (M2) の効用関数に代入して整理すると、支出関数として

$$e(v^1, v^2, U) = U - \frac{\mu X}{\beta} \ln \left[\left\{ \sum_{i=1}^2 \exp\left(\frac{v^i}{\mu\mu^1}\right) \right\}^{\mu^1} + 1 \right] \quad (34)$$

が得られる。(34)より、ルート1の交通投資が増

加したときの消費者余剰の変化は、

$$\begin{aligned} \Delta CS &= \frac{\mu X}{\beta} \left[\ln \left[\left\{ \sum_{i=1}^2 \exp\left(\frac{v^{iW}}{\mu\mu^1}\right) \right\}^{\mu^1} + 1 \right] \right. \\ &\left. - \ln \left[\left\{ \sum_{i=1}^2 \exp\left(\frac{v^{iWO}}{\mu\mu^1}\right) \right\}^{\mu^1} + 1 \right] \right] \end{aligned} \quad (35)$$

となる。(35)は、(22)をネステイドロジットモデルの場合に拡張したものである。ネステイドロジットモデルの場合も、存在しないルート的一般化価格は(35)に影響を与えないことは、 $p^{iWO} = \infty$ のとき、 $\exp\left(\frac{v^{iWO}}{\mu\mu^1}\right) = 0$ となることで確かめられる。

(28)や(29)を導出した手順を繰り返せば、総余剰の変化は、

$$\begin{aligned} \Delta B &= \frac{\mu X}{\beta} \left[\ln \left[\left\{ \sum_{i=1}^2 \exp\left(\frac{v^{iW}}{\mu\mu^1}\right) \right\}^{\mu^1} + 1 \right] \right. \\ &\left. - \ln \left[\left\{ \sum_{i=1}^2 \exp\left(\frac{v^{iWO}}{\mu\mu^1}\right) \right\}^{\mu^1} + 1 \right] \right] \\ &+ \int_{I^{iWO}}^{I^{iW}} \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\ &+ \int_{I^{iWO}}^{I^{iW}} \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\ &= \int_{p^{1W}}^{p^{1WO}} \tilde{x}^1 d\tilde{p}^1 + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\ &+ \int_{p^{2W}}^{p^{2WO}} \tilde{x}^2 d\tilde{p}^2 + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \end{aligned} \quad (36)$$

とかける。ここでも、さらに変形して(12)や(13)の形を導出することもできる。(36)はネステイドロジットモデルの場合でも、II 節の基本的モデルの便益評価方法は有効であることを示している。

ロジットモデル (より一般的には GEV モデル) は、特定の効用関数をもつ代表的消費者の効用最大化問題に変換できる。このような特定の効用関数を仮定することが正当化されるかど

うかは、実際に観察される交通需要や時間価値を再現できるかどうかによるだろう。しかし、特定の効用関数を仮定することは利点もある。基本モデルでは、ルートが存在しない場合の一般化価格の推定が困難であるため、新設のルートがある場合の便益評価が難しい。ロジットモ

デルや GEV モデルでは、消費者余剰の変化を、基本モデルと同様の方法でも、(22)や(35)のようなログサム項を用いた方法でも求めることができる¹³⁾。後者を使えば、新規の路線がある場合でも、総余剰の変化を実務的に計算することができる。

VI. 現実の交通投資の便益評価モデルの検証

ここでは、これまでの結果を踏まえて現実の交通投資の費用便益分析を検証していこう。

VI-1. 道路

道路投資の費用便益分析に関しては、国土交通省（2003）が出されている。以降これを道路マニュアルと呼ぼう。道路マニュアルではすべてのルートが道路交通（一般道）である場合を考えている。つまり、II 節の基本モデルにおいてルート 1 とルート 2 がともに一般道を通る自動車交通である場合を考えている。道路マニュアルでは、総余剰の変化は、プロジェクトがない場合のルート 1 の総費用とルート 2 の総費用の合計から、プロジェクトがある場合のルート 1 の総費用とルート 2 の総費用の合計を引いたものであるとしている。すなわち、道路マニュアルでは、(18)を総余剰の変化としている。ここで、(18)がどのような前提のもとで得られているかを思い出そう。(18)は、Wardrop モデルで、プロジェクトのある場合とない場合で総交通需要が変化しないときの便益指標であった。すなわち、(18)で総余剰の変化を求めるには、

(仮定 1) プロジェクトのある場合とない場合で総交通需要が変化しない

(仮定 2) 各ルートの一般化価格は等しい
という 2 つの仮定が満たされていなければならない。しかし、交通需要予測の実務において、上記の 2 つの仮定が常に満たされているわけ

はない。そのような状況で(18)を用いると、便益が正しく求められない。

それでは、(18)を誤って適用した場合の誤差はどれほどになるのだろうか？金本（2004）は、その誤差が「グロス消費者余剰」の変化の合計になることを指摘している。本稿の枠組みを使ってその点を見てみよう。(10)を変形すると、

$$\Delta B = \int_{\tilde{x}^{1W0}}^{\tilde{x}^{1W}} \tilde{p}^1 dx^1 + \int_{\tilde{x}^{2W0}}^{\tilde{x}^{2W}} \tilde{p}^2 dx^2 + \int_{I^{1W0}}^{I^{1W}} \left(\frac{dSC^1}{dI^1} + \frac{dSC^2}{dI^1} \right) dI^1 \quad (37)$$

となる。(この式の導出は付録で行う。) ここで、

$\int_{\tilde{x}^{1W0}}^{\tilde{x}^{1W}} \tilde{p}^1 dx^1$, $\int_{\tilde{x}^{2W0}}^{\tilde{x}^{2W}} \tilde{p}^2 dx^2$ はそれぞれ、ルート 1、ルート 2 のグロス消費者余剰の変化であり、一般均衡需要曲線の下側の面積の変化に対応している。このグロス消費者余剰の変化は、交通量が増加したルートではプラス、交通量が減少したルートではマイナスである。それらを合計したものは、プラスにもマイナスにもなりうる。(37)より、(18)は、各ルートのグロス消費者余剰の変化の合計分だけ総余剰の変化と乖離することが確かめられる。

VI-2. 鉄道

鉄道の費用便益分析に関しては、国土交通省（2005）が発行されている。以降これを鉄道マ

13) GEV モデルにおける、ログサム項を用いた消費者余剰の変化の一般形は付録の(A19)で導出する。

マニュアルと呼ぼう。鉄道マニュアルでは、ゾーン間の一般化価格、ゾーン間の交通量より、ゾーン間の消費者余剰の変化を求めるというアプローチを取っている。ゾーン間の交通量を XZ 、ゾーン間の一般化価格を PZ とすると、鉄道マニュアルで求めているゾーン間消費者余剰の変化は

$$\frac{1}{2}(XZ^{WO} + XZ^W)(PZ^{WO} - PZ^W) \quad (38)$$

となる。このようにゾーン間の一般化価格を用いて、ゾーン間の消費者余剰の変化を求める方法が誤った便益計算につながることは、すでに城所（2002, 2003a, 2003b）等で指摘されているが、ここでもう一度問題点を整理しておこう。

鉄道マニュアルでは、27ページに以下のような記述がある。

「ゾーン間に複数の交通機関あるいは複数の経路がある場合、当該ゾーン間の一般化費用の算定については、需要予測において使用したモデルのパターンや対象事業の特性にしたがって、以下の方法が考えられる。

方法1：離散選択モデル（ロジットモデル等）
 を使用した場合、全ての事業について、選択肢中の最大効用の期待値（ロジットモデルのログサム変数に相当する変数）を用いて、当該ゾーン間の一般化費用を算定する方法

方法2：上記以外の需要予測モデルを使用した場合、各交通機関あるいは経路の所要時間や運賃等を、それぞれの需要に応じて加重平均を行なうことにより、当該ゾーン間の一般化費用を算定する方法

以上のうち方法1については、交通需要予測にロジットモデルが使用されていることが前提となるが、ミクロ経済学の理論ベースを持って利用者の行動を表現可能なモデルであり、また計算が容易で交通需要予測の実務に広く使われていることから、本マニュアルで推奨する方法である。」

Ⅱ節で示した基本モデルの便益計算法を思い出せば、上記のようにゾーン間の一般化価格を求めて、ゾーン間の消費者余剰の変化を求めていくという考え方に問題があることは明白であろう。あくまで、ルートごとに消費者余剰の変化や生産者余剰の変化（あるいは、死重損失の変化）を求めていくことを原則とすべきである。以下、方法1と方法2でゾーン間の一般化価格を求めて、ゾーン間の消費者余剰の変化を計算するアプローチを詳しく検討して行こう。

まず、方法1について検討する。鉄道マニュアルでは、ログサム変数を選択肢の一般化価格にかかるパラメータで割ったもの、つまり、

$$CS \equiv -\frac{\mu}{\beta} \ln \left\{ \sum_{i=1}^2 \exp \left(\frac{v^i}{\mu} \right) + 1 \right\} \quad (39)$$

をゾーン間の一般化価格としてとらえている。(22)から明らかなように、(39)は消費者1人当たりの、各ルートから得られる消費者余剰の合計にマイナスをかけたものを示している。すべてのルートにおける消費者余剰の変化の合計は、(22)と(39)より、

$$\begin{aligned} \Delta CS &= X \{(-CS^W) - (-CS^{WO})\} \\ &= \frac{1}{2}(X + X)(CS^{WO} - CS^W) \end{aligned} \quad (40)$$

とかける。(40)は、プロジェクトがある場合とない場合で総交通量に変化しない、つまり、 $XZ^{WO} = XZ^W = X$ であれば、 CS をゾーン間の一般化価格と解釈して $CS = PZ$ としても、すべてのルートの消費者余剰の変化の合計が正しく求められることを示している。しかし、このような解釈が可能であるためには、V-2節で行ったように、消費者数や住民数を固定し、「旅行しない」という選択肢を加えてロジットモデルを設計しているか、あるいは、総交通量が固定されている必要がある。実務で見られる交通需要予測では、V-2節のような「旅行しない」という選択肢を考慮に入れて、ロジットモデルが効用最大化問題と完全に整合的に設計されていることは稀であり、交通機関分担等、交通需要

予測の一部だけにロジットモデルが用いられていることがほとんどであろう。このような場合、総交通量が一定でない限り、ログサム変数を選択肢の一般化価格にかかるパラメータで割ったものをゾーン間の一般化価格と解釈してよいかどうかは明らかになっていない。V-2節で分析したように、ロジットモデルやその一般形である GEV モデルは基本モデルの特殊ケースに当たるので、基本モデルの便益計算法を用いれば、総交通量が固定の場合でも変化する場合でも、便益を正しく求めることができる。

次に、方法2についてであるが、各交通機関の一般化価格の加重平均をとってゾーン間の一般化価格を定義することは、一つの例外的な場合を除き、本稿で解説したいかなるモデルとも整合的でない。「一つの例外的な場合」とは、Wardrop モデルを前提として、すべてのルートの一般化価格が等しく、すべてのルートが利用されている場合である。この場合は、当然、加重平均した一般化価格と各ルートの一般化価格は一致するため、方法2を用いてゾーン間の一般化価格を求め、(38)より消費者余剰の変化を求めても正しく計算することができる。しかし、もともと一般化価格がもともと等しい場合に、それらの加重平均を求める意味はないため、方法2は有用性がないといえるだろう。このように、加重平均した一般化価格を用いて便益を計算することは本稿の分析からは正当化されず便益評価に歪みをもたらすことになる。もし、加重平均した一般化価格を用いることを正当化するならば、それを可能にする経済モデル分析が明示されるべきであろう。

なお、鉄道マニュアルの152ページには、筆者が旧版の鉄道マニュアル（運輸政策研究機構（1999））に対して行った指摘に対する言及とその回答が見られる。

「『マニュアル99』（筆者注：運輸政策研究機構（1999））における消費者余剰法による利用

者便益計測の考え方については、例えば経済学的な立場からは、OD（筆者注：Origin-Destination）ペアに着目するのではなく改善対象のリンクに着目して便益を計測するべきである等の技術面での指摘がなされている¹⁴⁾」。

一方この指摘に対しては、「マニュアル99」における方法は、既存路線の改善だけでなく新規路線整備の評価まで考慮した理論的にも妥当な方法であるとの見解¹⁵⁾が示されている。

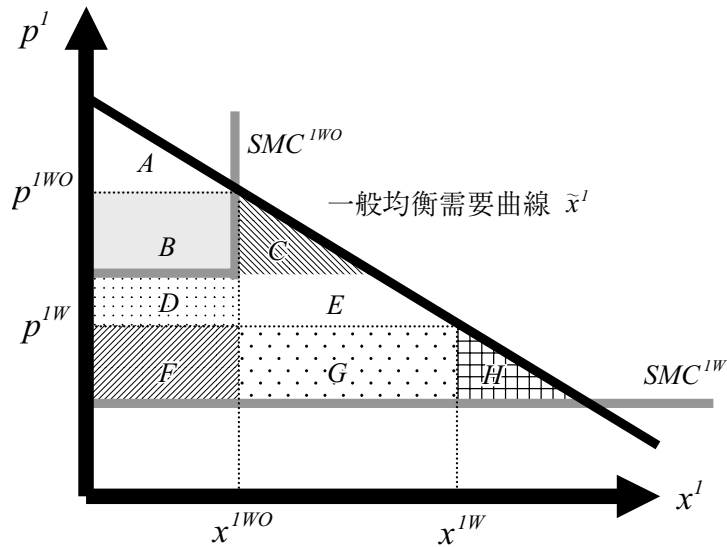
本マニュアルでは、既存研究等における指摘を整理した上で、上述の改善リンクに着目した便益の計測手法については、新規路線の評価に対応できない、またリンク毎に一般均衡需要関数を設定することが困難である等の実務的な問題が存在することを踏まえて、「マニュアル99」と同様に、OD ペアに着目した便益計測を基本としている。」

改善対象のリンクに着目して便益を評価する方法が経済理論上妥当であることは、II節の分析から明らかである。しかし、IV節で示したように、この方法は新規路線の評価の場合に実務上の困難を伴う。問題は、OD ペアに着目することで新規路線の評価が実務上可能になるのかという点である。答えは否である。新規路線の評価を実務上可能にするには、現状では、V節で示したように、Wardrop モデルやロジットモデル（一般的には GEV モデル）を用いる必要があるが、これらのモデルでは、II節のモデルより厳しい仮定を置いている。Wardrop モデルでは、各ルートは完全代替であることを仮定しているので、利用されている各ルートの価格は等しくなる。したがって、利用されているルートの一般化価格だけで便益評価を行うことができる。ロジットモデルは、代表的消費者の関数形を、V-2節の効用最大化問題（M1）のような特殊な形に限定しており、その特殊な関数形が新規路線の場合の便益評価を可能にしている。つまり、関数形に何らかの制約を課すこと

14) 城所（2002）

15) 上田他（2002）

図8 ルート1に容量制約がある場合



で新規路線の評価を可能にしているものであり、ODペアに着目することで新規路線の評価を可能にしているのではない。

鉄道マニュアルでは、「ODペアに着目」しているが故に、OD間の各ルートで一般化価格が異なる場合は、何らかの処理をする必要がある。その処理として、加重平均をとった一般化価格が用いられている。確かに、このような加重平均一般化価格を用いれば、どのような場合でも、計算は可能である。しかし、計算が可能であることと便益を正しく求めることは全く別の次元の話であり、混同してはならない。そのような計算で求められたものは、Ⅱ節で求めた消費者余剰と対応しないため、新規路線がある場合だけでなく、ない場合でも便益計算を誤ることになる。すなわち、加重平均一般化価格を採用することによって、実務上問題がない、新規路線の整備がない場合の便益評価まで歪められてしまうのである。

なお、最近、イギリスでは、Ⅱ節の分析と整合性を保ちながら、新規路線の評価を実務上可能にする方法が開発されている。この方法に関しては Department for Transport (2004) を参照

されたい。

Ⅵ-3. 空港

空港整備に関しては、国土交通省(2004a)が発行されている。以降これを空港マニュアルと呼ぼう。空港マニュアルでも鉄道マニュアルと同様、ゾーン間の一般化価格¹⁶⁾を求めて便益計算を行っている。その点がもたらす一般的な問題点に関しては、Ⅵ-2節の議論がそのまま当てはまるので、繰り返さない。ここでは、空港整備の便益評価に特有な容量制約の問題を考えていく。

空港整備の便益評価では、容量制約が存在する場合の便益評価法が問題になる。もちろん、これまで見てきた道路や鉄道の例でも容量制約は存在するが、それらは「ゆるい」容量制約である。すなわち、道路では、計画された交通容量を超えれば混雑が発生するが完全に通行でなくなるわけではない。鉄道でも、乗車定員を超えて乗車することは可能であり、その場合は乗客が混雑の不利益を被ることになる。空港の容量制約はそれよりも厳しいものである。空港の発着枠を超えて飛行機が離発着することはで

16) なお、空港マニュアルでは、ゾーン間の一般化費用は、鉄道マニュアルの方法2と方法3で計算することとされている。

きないし、空港を利用するサービスである航空では、新幹線の自由席のように立席で混雑が調整されることもない¹⁷⁾。このような「厳しい」容量制約がある場合の便益評価については、運輸政策研究機構（1999）以来、課題として認識されているので、ここで説明しよう。

実は、空港に対する容量制約の問題があっても便益計算方法は、Ⅱ節の基本モデルの方法と何ら異なることはない。今、ルート1が航空であるとしよう。空港への投資プロジェクトを考える。プロジェクトが実行されないと容量制約が有効であるが、プロジェクトの実行により容量制約が撤廃されるとしよう。（なお、プロジェクトが実行されても容量制約が残る状況でも議論に影響はない。）この場合のルート1の状況は図8のように描かれる¹⁸⁾。プロジェクトが実行されない場合の総余剰が $A+B$ の面積、プロジェクトが実行される場合の総余剰が $A+B+C+D+E+F+G$ の面積なので、このプロジェクトによるルート1の総余剰の変化は $C+D+E+F+G$ の面積となる。

Ⅱ節の1や1'にならい、ルート1の消費者余剰の変化とルート1の生産者余剰の変化を求めてみよう。ルート1の消費者余剰の変化は、 $B+C+D+E$ の面積である。また、ルート1の生産者余剰の変化は、 $F+G-B$ の面積である。この2つの面積を合計すると、 $C+D+E+F+G$ の面積となり、先ほど求めた総余剰の変化に一致する。Ⅱ節の3や3'のように、ルート1のファーストベストの総余剰の変化とルート1の死重損失の変化に分解することもできる。ルート1のファーストベストの総余剰の変化は $D+E+F+G+H$ の面積、ルート1の死重損失の変化は、 $-H-(-C)$ の面積である。

これらを合計すると、再び、ルート1の総余剰の変化が $C+D+E+F+G$ の面積と求められる。ルート2に関してはⅡ節の分析と全く同様であり、ルート2の消費者余剰の変化と生産者余剰の変化を求めるか、死重損失の変化を求めればよい。

国土交通省（2004a）では、路線需要が路線容量を上回る航空路線を利用する場合の利用者便益の計測について、次のように書かれている。

「例えば、with ケースでは容量オーバーせず、without ケースでは容量オーバーする航空路線があるとする。このとき、with ケースの内、without ケースで容量オーバーする航空需要は、without ケースでは当該容量オーバー航空路線を除く他航空路線、他交通機関を利用するものとして再配分し、一般化費用を算定する。その上で、with, without ケースのOD 需要量（誘発需要がある場合には、with ケースと without ケースで異なる）と上記各々のケースの一般化費用を用いて、1) の要領（筆者注：Ⅵ-2 節で述べたようなゾーン間一般化価格を用いる消費者余剰計算）で利用者便益を計測する。」

もし、算定された航空の一般化価格、航空需要が正しいならば、それをもとに、正確な便益計算を行うことができる。容量制約がない場合と同様の方法で、航空の消費者余剰の変化と生産者余剰の変化を求めて、それに他のルートでの消費者余剰の変化や生産者余剰の変化の合計（または他のルートでの死重損失の変化の合計）を加えればよい。たとえ算定された航空の一般化価格や航空需要が正しくても、国土交通省（2004a）の方法では、ゾーン間一般化価格を用いるところで、便益計算を誤ることになる。

17) もちろん、滑走路が少ないことにより、離陸までの時間が長くなることも考えられる。このような混雑は通常の混雑と同様に考えることができる。

18) ここでは、容量制約に達するまで社会的限界費用は一定としているが、社会的限界費用が変化しても同様の議論が成立する。また、プロジェクトが実行された場合でも価格と社会的限界費用の乖離が存在するとして作図しているが、これらが等しい状況でも議論に影響はない。

VII. おわりに

本稿では、ミクロ経済学に立脚した便益評価モデルを構築することからはじめ、それによる便益評価法を説明し、現実の費用便益分析マニュアルの問題点を明示してきた。結論は非常に単純である。Ⅱ節の基本モデルが示す便益評価法は、どのような交通需要予測がなされても、その交通需要予測が生み出す予測が正しい限り必ず正しい便益を与える。もちろん、一般均衡需要曲線を線形で推定した場合はそれに伴う誤差が生じるであろう。しかし、そのような実務で生じる誤差を無視できるのであれば、Ⅱ節の基本モデルの方法を用いればよい。

問題は、あるプロジェクトによって新規のルートが建設される場合の便益の計算法である。もちろん、これは実務上の問題であり、理論上の問題ではない。一般均衡需要曲線の形状を全域で知ることができれば需要がゼロのときの一般化価格、すなわち、プロジェクトがない場合の一般化価格を知ることができるため、全く問題にはならないであろう。しかし、現実の便益計算時に一般均衡需要曲線の形状を全域で知ることができるというのはかなり無理な想定であろう。もし、一般均衡需要曲線の形状が一部しかわからないのであれば、整合的な便益評価のためにはさらなる仮定が必要になる。本稿で説明した Wardrop モデルやロジットモデルでは、背後により特殊な関数形を仮定しているため、プロジェクトがない場合の一般化価格を知る必要がなくなり、新規のルートの便益評価でも正しく便益を計算することができる。しかし、Wardrop モデルやロジットモデルの便益評価法を用いるには、それらと整合的な交通需要予測をする必要があることに注意しなければならない。

本稿では、代表的消費者モデルのもと、統一的に便益評価を論じてきたが、本稿の結論は、

代表的消費者が1タイプである場合の結論である。今後は、代表的消費者が複数タイプ存在する場合の分析が必要であると考えられる。これは、理論上必要であるだけでなく、実務上もきわめて重要な拡張になるであろう。例えば、Ⅴ節で見たように、Wardrop モデルでは、ルート1の一般化価格がルート2の一般化価格よりも低ければ、全員がルート1を使い、ルート2の交通量はゼロになる。しかし、これは非現実的であり、ある程度の交通量はルート2に残るであろう。時間費用の値の分布を考えて、複数タイプの代表的消費者が存在するとすれば、時間費用が高い人がルート1を通り、時間費用が低い人がルート2を通るといったより現実的な現象が説明しうる。また、複数タイプの代表的消費者を考えた場合、新規のルートができる場合の便益評価についても、より実務的な方法が開発される可能性がある。

付録

(10)の導出

(9)を I^1 に関して全微分すると

$$\begin{aligned} \frac{dB}{dI^1} &= - \left(\frac{d\bar{p}^1}{dI^1} \right) \bar{x} - \bar{p}^1 \frac{d\bar{x}^1}{dI^1} - \left(\frac{d\bar{p}^2}{dI^1} \right) \bar{x}^2 - \bar{p}^2 \frac{d\bar{x}^2}{dI^1} \\ &\quad + u^1 \frac{d\bar{x}^1}{dI^1} + u^2 \frac{d\bar{x}^2}{dI^1} + \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} \\ &\quad + \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} \\ &= - \left(\frac{d\bar{p}^1}{dI^1} \right) \bar{x}^1 - \left(\frac{d\bar{p}^2}{dI^1} \right) \bar{x}^2 \\ &\quad + \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} \end{aligned}$$

$$+ \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} \quad (A1)$$

となる。なお、ここで、 $u_1 = \bar{p}^1 = \bar{p}^1$ と $u_2 = \bar{p}^2 = \bar{p}^2$ という効用最大化の結果を利用している。(A1)を積分して(10)を得る。

(12)の導出

(4)を使って、(10)の右辺第三項と第四項を整理すると

$$\begin{aligned} & \int_{p^{2w}}^{p^{2wo}} \bar{x}^2 d\bar{p}^2 + \int_{I^{1wo}}^{I^{1w}} \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\ &= - \int_{I^{1wo}}^{I^{1w}} \bar{x}^2 \frac{d\bar{p}^2}{dI^1} dI^1 \\ &+ \int_{I^{1wo}}^{I^{1w}} \left\{ \bar{t}_1^2 \bar{x}^2 + \bar{t}^2 \left(\frac{d\bar{x}^2}{dI^1} \right) - C_1^2 \left(\frac{d\bar{x}^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\ &= \int_{I^{1wo}}^{I^{1w}} \left[-\bar{x}^2 \left\{ \bar{t}_1^2 + TC_1^2 \left(\frac{d\bar{x}^2}{dI^1} \right) \right\} + \bar{t}_1^2 \bar{x}^2 \right. \\ &+ \left. (\bar{p}^2 - TC^2) \left(\frac{d\bar{x}^2}{dI^1} \right) - C_1^2 \left(\frac{d\bar{x}^2}{dI^1} \right) \right] dI^1 \\ &= \int_{I^{1wo}}^{I^{1w}} \left\{ \bar{p}^2 - (C_1^2 + TC^2 + TC_1^2 \bar{x}^2) \right\} \left(\frac{d\bar{x}^2}{dI^1} \right) dI^1 \\ &= \int_{x^{2wo}}^{x^{2w}} (\bar{p}^2 - SMC^2) d\bar{x}^2 \quad (A2) \end{aligned}$$

となる。(A2)を(10)に代入して(12)を得る。

(13)の導出

(4)を使って、(12)の右辺第一項と第二項を整理すると

$$\begin{aligned} & \int_{p^{1w}}^{p^{1wo}} \bar{x}^1 d\bar{p}^1 + \int_{I^{1wo}}^{I^{1w}} \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\ &= - \int_{I^{1wo}}^{I^{1w}} \bar{x}^1 \frac{d\bar{p}^1}{dI^1} dI^1 \\ &+ \int_{I^{1wo}}^{I^{1w}} \left\{ \bar{t}_1^1 \bar{x}^1 + \bar{t}^1 \left(\frac{d\bar{x}^1}{dI^1} \right) - C_1^1 \left(\frac{d\bar{x}^1}{dI^1} \right) - C_2^1 \right\} dI^1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \int_{I^{1wo}}^{I^{1w}} \left[-\bar{x}^1 \left\{ \bar{t}_1^1 + TC_1^1 \left(\frac{d\bar{x}^1}{dI^1} \right) + TC_2^1 \right\} + \bar{t}_1^1 \bar{x}^1 \right. \\ &+ \left. (\bar{p}^1 - TC^1) \left(\frac{d\bar{x}^1}{dI^1} \right) - C_1^1 \left(\frac{d\bar{x}^1}{dI^1} \right) - C_2^1 \right] dI^1 \\ &= \int_{I^{1w}}^{I^{1wo}} \{ C_2^1 + TC_2^1 \bar{x}^1 \} dI^1 \\ &+ \int_{I^{1wo}}^{I^{1w}} \{ \bar{p}^1 - (C_1^1 + TC^1 + TC_1^1 \bar{x}^1) \} \left(\frac{d\bar{x}^1}{dI^1} \right) dI^1 \\ &= \int_{I^{1w}}^{I^{1wo}} SC_2^1 dI^1 + \int_{x^{1wo}}^{x^{1w}} (\bar{p}^1 - SMC^1) d\bar{x}^1 \quad (A3) \end{aligned}$$

となる。(A3)を(12)に代入して(13)を得る。

(14)の導出

$$\begin{aligned} & \bar{t}^i(I^1, I^2) = \bar{t}^i \text{ のとき, (8)は,} \\ & \bar{x}^i = \bar{x}^i(\bar{t}^1, \bar{t}^2, I^1, I^2) \\ &= \bar{x}^i(\bar{p}^1(\bar{t}^1, \bar{t}^2, I^1, I^2), \bar{p}^2(\bar{t}^1, \bar{t}^2, I^1, I^2)) \quad (A4) \end{aligned}$$

となる。(9)を $\bar{t}^1$ に関して全微分すると

$$\begin{aligned} & \frac{d\bar{B}}{d\bar{t}^1} = - \left(\frac{d\bar{p}^1}{d\bar{t}^1} \right) \bar{x}^1 - \bar{p}^1 \frac{d\bar{x}^1}{d\bar{t}^1} - \left(\frac{d\bar{p}^2}{d\bar{t}^1} \right) \bar{x}^2 - \bar{p}^2 \frac{d\bar{x}^2}{d\bar{t}^1} \\ &+ u_1 \frac{d\bar{x}^1}{d\bar{t}^1} + u_2 \frac{d\bar{x}^2}{d\bar{t}^1} + \left\{ \left(\frac{dR^1}{d\bar{t}^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{d\bar{t}^1} \right) \right\} \\ &+ \left\{ \left(\frac{dR^2}{d\bar{t}^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{d\bar{t}^1} \right) \right\} \\ &= - \left\{ 1 + TC_1^1 \left(\frac{d\bar{x}^1}{d\bar{t}^1} \right) \right\} \bar{x}^1 - TC_1^2 \left(\frac{d\bar{x}^2}{d\bar{t}^1} \right) \bar{x}^2 \\ &+ \left\{ \bar{x}^1 + \bar{t}^1 \left(\frac{d\bar{x}^1}{d\bar{t}^1} \right) - C_1^1 \left(\frac{d\bar{x}^1}{d\bar{t}^1} \right) \right\} \\ &+ \left\{ \bar{t}^2 \left(\frac{d\bar{x}^2}{d\bar{t}^1} \right) - C_1^2 \left(\frac{d\bar{x}^2}{d\bar{t}^1} \right) \right\} \\ &= \{ \bar{p}^1 - (C_1^1 + TC^1 + TC_1^1 \bar{x}^1) \} \left(\frac{d\bar{x}^1}{d\bar{t}^1} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \{\bar{p}^2 - (C_1^2 + TC^2 + TC_1^2 \bar{x}^2)\} \left(\frac{d\bar{x}^2}{dI^1} \right) \\
 & = (\bar{p}^1 - SMC^1) \left(\frac{d\bar{x}^1}{dI^1} \right) + (\bar{p}^2 - SMC^2) \left(\frac{d\bar{x}^2}{dI^1} \right) \quad (A5)
 \end{aligned}$$

となる。なお、ここで、(4)と、 $u_1 = p^1 = \bar{p}^1$ と $u_2 = p^2 = \bar{p}^2$ という効用最大化の結果を利用している。(A5)を積分して(14)を得る。

(16)の導出

Wardrop モデルにおける代表的消費者の予算制約は

$$y = z + p(x^1 + x^2) \quad (A6)$$

となる。(15)を(A6)のもとで最大化すると

$$p = u'(x^1 + x^2) \quad (A7)$$

となる。また、(4)は、Wardrop モデルの場合、

$$p = t^1(I^1, I^2) + TC^1(x^1, I^1) \quad (A8)$$

$$p = t^2(I^1, I^2) + TC^2(x^2, I^2) \quad (A9)$$

となる。両ルートが利用されるのであれば、つまり、 $p = \min(p^1, p^2) = p^1 = p^2$ であれば、(A7)、(A8)、(A9)より、 $\bar{p}(I^1, I^2)$ 、 $\bar{x}^1(I^1, I^2)$ 、 $\bar{x}^2(I^1, I^2)$ が得られる。 $p^1 > p^2 = p$ の場合は、 $x^1 = 0$ となり、(A7)と(A9)より $\bar{p}(I^1, I^2)$ と $\bar{x}^2(I^1, I^2)$ が求められる。 $p^2 > p^1 = p$ の場合は、 $x^2 = 0$ となり、(A7)と(A8)より $\bar{p}(I^1, I^2)$ と $\bar{x}^1(I^1, I^2)$ が求められる。

Wardrop モデルでは、(15)と(A6)より、(9)は

$$\begin{aligned}
 B = & -px^1 - px^2 + u(x^1 + x^2) + t^1 x^1 - C^1(x^1, I^1) \\
 & + t^2 x^2 - C^2(x^2, I^2) \quad (A10)
 \end{aligned}$$

とかける。(A10)を I^1 に関して全微分すると、(A7)より、

$$\frac{dB}{dI^1} = - \left(\frac{d\bar{p}}{dI^1} \right) (\bar{x}^1 + \bar{x}^2) - \bar{p} \frac{d(\bar{x}^1 + \bar{x}^2)}{dI^1}$$

$$\begin{aligned}
 & + u' \frac{d(\bar{x}^1 + \bar{x}^2)}{dI^1} + \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} \\
 & + \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} \\
 & = - \left(\frac{d\bar{p}}{dI^1} \right) (\bar{x}^1 + \bar{x}^2) \\
 & + \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} \\
 & + \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} \quad (A11)
 \end{aligned}$$

を得る。(A11)を積分すると(16)が得られる。

(18)の導出

(A8)と(A9)を(A11)に代入すると

$$\begin{aligned}
 \frac{dB}{dI^1} = & - \left(\frac{d\bar{p}}{dI^1} \right) (\bar{x}^1 + \bar{x}^2) \\
 & + \left[\frac{d\{\bar{p} - TC^1(\bar{x}^1, I^1)\} \bar{x}^1}{dI^1} - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right] \\
 & + \left[\frac{d\{\bar{p} - TC^2(\bar{x}^2, I^2)\} \bar{x}^2}{dI^1} - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right] \\
 = & \bar{p} \frac{d(\bar{x}^1 + \bar{x}^2)}{dI^1} - \left(\frac{dSC^1}{dI^1} + \frac{dSC^2}{dI^1} \right) \\
 = & - \left(\frac{dSC^1}{dI^1} + \frac{dSC^2}{dI^1} \right) \quad (A12)
 \end{aligned}$$

である。2行目から3行目の変形では、総交通需要は一定なので $\frac{d(\bar{x}^1 + \bar{x}^2)}{dI^1} = 0$ であることを利用している。(A12)を積分すると、(18)を得る。

GEV モデルの分析

$Y^k \equiv \exp\left(\frac{\nu^k}{\mu}\right) > 0 (k=0, 1, 2)$, $G \equiv G(Y^0, Y^1, Y^2)$ としよう。Gは、下記の4条件を満たすとする。(なお、これらの条件は McFadden (1978) により最初に示され、Ben-Akiva and Francois (1983) によって拡張されたものである。)

- 1 G は非負の関数である。
- 2 G は ϕ 次同次関数である。
- 3 $\lim_{y^* \rightarrow \infty} G = \infty$
- 4 すべての $k \neq l$ に対し, $G_k \geq 0$ かつ $G_{kl} \leq 0$ である。また, 異なった k, l, m に対し, $G_{klm} \geq 0$ である。

GEV モデルのもとでの需要関数は

$$x^0 = \frac{XG_1}{\phi G} \quad (A13)$$

$$x^1 = \frac{XG_2}{\phi G} \exp\left(\frac{v^1}{\mu}\right) \quad (A14)$$

$$x^2 = \frac{XG_3}{\phi G} \exp\left(\frac{v^2}{\mu}\right) \quad (A15)$$

となる。GEV に対応する代表的消費者の直接効用関数は未だ明らかになっていないが, 間接効用関数は, (A13)–(A15) とロワの恒等式を用いて,

$$V = y + \frac{\mu X}{\phi \beta} \ln G \left(\exp\left(\frac{v^0}{\mu}\right), \exp\left(\frac{v^1}{\mu}\right), \exp\left(\frac{v^2}{\mu}\right) \right) \quad (A16)$$

のように導くことができる。(1)–(3)より, 基本モデルの間接効用関数は

$$V = y + \psi(p^1, p^2) \quad (A17)$$

となる。(A16)と(A17)を比較すると, GEV モデルの間接効用関数(13)は, 基本モデルの間接効用関数(A17)の特殊ケースであることがわかる。(A16)より, 支出関数が,

$$e(v^1, v^2, V) = V - \frac{\mu X}{\phi \beta} \ln G \left(1, \exp\left(\frac{v^1}{\mu}\right), \exp\left(\frac{v^2}{\mu}\right) \right) \quad (A18)$$

として導かれる。(A18)より, ルート 1 の交通投資による消費者余剰の変化は

$$\Delta CS = -\frac{\mu X}{\phi \beta} \left\{ \ln G \left(1, \exp\left(\frac{v^{1W}}{\mu}\right), \exp\left(\frac{v^{2W}}{\mu}\right) \right) - \ln G \left(1, \exp\left(\frac{v^{1WO}}{\mu}\right), \exp\left(\frac{v^{2WO}}{\mu}\right) \right) \right\} \quad (A19)$$

となる。この結果は, Choi and Moon (1997) の(12)を応用したものになっている。(28)と同様の手順で

$$\begin{aligned} \Delta CS &= \int_{I^{1W}}^{I^{1WO}} \frac{de(v^1, v^2, V)}{dI^1} dI^1 \\ &= \int_{I^{1W}}^{I^{1WO}} \left(\frac{\partial e}{\partial v^1} \frac{\partial v^1}{\partial p^1} \frac{\partial p^1}{\partial I^1} + \frac{\partial e}{\partial v^2} \frac{\partial v^2}{\partial p^2} \frac{\partial p^2}{\partial I^1} \right) dI^1 \\ &= -\frac{\mu X}{\phi \beta} \int_{I^{1W}}^{I^{1WO}} \left\{ \frac{-\frac{\beta}{\mu} G_2 \exp\left(\frac{v^1}{\mu}\right)}{G} \frac{\partial p^1}{\partial I^1} + \frac{-\frac{\beta}{\mu} G_3 \exp\left(\frac{v^2}{\mu}\right)}{G} \frac{\partial p^2}{\partial I^1} \right\} dI^1 \\ &= \int_{I^{1W}}^{I^{1WO}} \left\{ \frac{XG_2 \exp\left(\frac{v^1}{\mu}\right)}{\phi G} \frac{\partial p^1}{\partial I^1} + \frac{XG_3 \exp\left(\frac{v^2}{\mu}\right)}{\phi G} \frac{\partial p^2}{\partial I^1} \right\} dI^1 \\ &= \int_{p^{1W}}^{p^{1WO}} \tilde{x}^1 d\tilde{p}^1 + \int_{p^{2W}}^{p^{2WO}} \tilde{x}^2 d\tilde{p}^2 \quad (A20) \end{aligned}$$

となる。(A20)は, (A19)の右辺がすべてのルートにおける消費者余剰の変化の合計に等しいことを示している。すべてのルートでの生産者

余剰の変化を (A19) と (A20) に加えると,

$$\begin{aligned}
 \Delta B = & -\frac{\mu X}{\phi\beta} \left\{ \ln G \left(1, \exp \left(\frac{v^{1W}}{\mu} \right), \exp \left(\frac{v^{2W}}{\mu} \right) \right) \right. \\
 & \left. - \ln G \left(1, \exp \left(\frac{v^{1WO}}{\mu} \right), \exp \left(\frac{v^{2WO}}{\mu} \right) \right) \right\} \\
 & + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\
 & + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\
 = & \int_{p^{1W}}^{p^{1WO}} \tilde{x}^1 d\tilde{p}^1 + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\
 & + \int_{p^{2W}}^{p^{2WO}} \tilde{x}^2 d\tilde{p}^2 + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1
 \end{aligned} \tag{A21}$$

となるが, これは, 基本モデルの便益計算法が GEV モデルに対しても有効であることを示している。(さらに変形して(12)や(13)の形を導出することもできる。)

(37)の導出

(10)を変形すると,

$$\begin{aligned}
 \Delta B = & \int_{p^{1W}}^{p^{1WO}} \tilde{x}^1 d\tilde{p}^1 + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^1}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^1}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\
 & + \int_{p^{2W}}^{p^{2WO}} \tilde{x}^2 d\tilde{p}^2 + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ \left(\frac{dR^2}{dI^1} \right) - \left(\frac{dC^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\
 = & - \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \tilde{x}^1 \frac{d\tilde{p}^1}{dI^1} dI^1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ t_1^1 \tilde{x}^1 + t^1 \left(\frac{d\tilde{x}^1}{dI^1} \right) - C_1^1 \left(\frac{d\tilde{x}^1}{dI^1} \right) - C_2^1 \right\} dI^1 \\
 & - \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \tilde{x}^2 \frac{d\tilde{p}^2}{dI^1} dI^1 \\
 & + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left\{ t_1^2 \tilde{x}^2 + t^2 \left(\frac{d\tilde{x}^2}{dI^1} \right) - C_1^2 \left(\frac{d\tilde{x}^2}{dI^1} \right) \right\} dI^1 \\
 = & \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left[-\tilde{x}^1 \left\{ t_1^1 + TC_1^1 \left(\frac{d\tilde{x}^1}{dI^1} \right) + TC_2^1 \right\} + t_1^1 \tilde{x}^1 \right. \\
 & + (\tilde{p}^1 - TC^1) \left(\frac{d\tilde{x}^1}{dI^1} \right) - C_1^1 \left(\frac{d\tilde{x}^1}{dI^1} \right) - C_2^1 \left. \right] dI^1 \\
 & + \int_{I^{1WO}}^{I^{1W}} \left[-\tilde{x}^2 \left\{ t_1^2 + TC_1^2 \left(\frac{d\tilde{x}^2}{dI^1} \right) \right\} + t_1^2 \tilde{x}^2 \right. \\
 & + (\tilde{p}^2 - TC^2) \left(\frac{d\tilde{x}^2}{dI^1} \right) - C_1^2 \left(\frac{d\tilde{x}^2}{dI^1} \right) \left. \right] dI^1
 \end{aligned} \tag{A22}$$

となる。ここで, $SC^i(x^i, I^i) \equiv C^i(x^i, I^i) + TC^i(x^i, I^i)x^i$ より,

$$\begin{aligned}
 \frac{dSC^1}{dI^1} = & C_1^1 \left(\frac{d\tilde{x}^1}{dI^1} \right) + C_2^1 + TC_1^1 \tilde{x}^1 \left(\frac{d\tilde{x}^1}{dI^1} \right) \\
 & + TC^1 \left(\frac{d\tilde{x}^1}{dI^1} \right) + TC_2^1 \tilde{x}^1
 \end{aligned} \tag{A23}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dSC^2}{dI^1} = & C_1^2 \left(\frac{d\tilde{x}^2}{dI^1} \right) + TC_1^2 \tilde{x}^2 \left(\frac{d\tilde{x}^2}{dI^1} \right) \\
 & + TC^2 \left(\frac{d\tilde{x}^2}{dI^1} \right)
 \end{aligned} \tag{A24}$$

である。(A23)と(A24)を使って, (A22)を整理すると, (37)を得る。

参 考 文 献

- Anderson, S. P., De Palma, A., and Thisse, J.-F., (1992), *Discrete Choice Theory of Product Differentiation*, MIT Press.
- Arnott, R. and Yan, A., (2000), “The Two-Mode

- Problem: Second-best Pricing and Capacity”, *Review of Urban and Regional Development Studies* 12, 170–199.
- Ben-Akiva, M. and B. Francois, (1983), Mu-ho-

- homogeneous generalized extreme value model, Working Paper, Department of Civil Engineering, MIT.
- Boadway, R. W. and Bruce, N., (1984), *Welfare Economics*, Basil Blackwell.
- Choi, K.-H., and Moon, C.-G., (1997), “Generalized extreme value model and additively separable generator function,” *Journal of Econometrics* 76, 129–140.
- Department for Transport (2004), TUBA Guidance, http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_econappr/documents/page/dft_econappr_507975.pdf.
- 金本良嗣 (1996), 公共投資の便益評価：消費者余剰アプローチ, 日交研シリーズ A-201, 日本交通政策研究会.
- 金本良嗣 (2004), 消費者余剰アプローチによる政策評価, RIETI Discussion Paper04-J-042, 経済産業研究所.
- 城所幸弘 (2002), ネットワークに対する費用便益分析, 運輸政策研究 4 (4), 2–10.
- 城所幸弘 (2003a), 交通プロジェクトの便益評価—体系と課題—, 運輸政策研究 6 (2), 14–27.
- 城所幸弘 (2003b), 上田・森杉・林山論文「交通整備事業の便益計測に関するいくつかの留意事項—城所論文を踏まえた再検討—」への回答. 運輸政策研究 6 (3), 17–22.
- Kidokoro, Y., (2004), “Cost-Benefit Analysis for Transport Networks—Theory and Applications—”, *Journal of Transport Economics and Policy* 38, 275–307.
- 国土交通省 (2003), 費用便益分析マニュアル, <http://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/bin-eki.pdf>, 国土交通省道路局 都市・地域整備局.
- 国土交通省 (2004a), 空港整備事業の費用対効果分析マニュアル Ver 3, 国土交通省航空局.
- 国土交通省 (2004b), 公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針, <http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/13/130206/04.pdf>.
- 国土交通省 (2005), 鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル2005, http://www.mlit.go.jp/tetudo/jigyo_hyoka/manual2005.html, 国土交通省鉄道局
- McFadden, D., (1978), “Modelling the Choice of Residential Location”, in: A. Karlqvist, L. Lundqvist, and J. W. Weibull, eds., *Spatial Interaction Theory and Residential Location* (North-Holland, Amsterdam), 75–96.
- Oppenheim, N., (1995), *Urban Travel Demand Modeling*, Wiley-Interscience Publication.
- Ortuzar, J. D., and Willumsen, L. G., (2001), *Modelling Transport*, Wiley.
- Small, K. A., and Rosen, H. S., (1981), “Applied Welfare Economics with Discrete Choice Models”, *Econometrica* 49, 105–130.
- Train, K., E., (2003), *Discrete Choice Methods with Simulations*, Cambridge University Press.
- 上田孝行、森杉壽芳、林山泰久 (2002), 交通整備事業の便益評価に関するいくつかの留意事項—城所論文を踏まえた再検討—, 運輸政策研究, 5 (2), 23–35.
- 運輸政策研究機構 (1999), 空港整備事業の費用対効果分析マニュアル1999, 運輸政策研究機構
- 運輸政策研究機構 (1999), 鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル99, 運輸政策研究機構
- Varian, H. R., (1992), *Microeconomic Analysis*, Norton.
- Verboven, F., (1996), The Nested logit Model and Representative Consumer Theory, *Economics Letters* 50, 57–63.
- Wardrop, J. G., (1952), Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research, reprinted in H. Mohring eds., *The Economics of Transport I* (Edward Elgar Publishing), 299–352.
- Williams, H. C. W. L., (1977), “On the Formation of Travel Demand Models and Economic Evaluation Measures of User Benefit”, *Environment and Planning A* 9, 285–344.
- Willig, R. D., (1976), Consumer’s Surplus With-

out Apology, *American Economic Review* 66, 589–597.