

# 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 -

交通整備事業の費用便益分析においては、交通需要が機関/経路別に推計されていながら、ODレベルでの需要を用いて利用者便益を計算するのが一般的である。また、混雑の緩和についても、利用者便益に含めて計測することも行われている。それに対して、城所(2002)は運輸政策研究機構(1999)による鉄道整備事業の評価マニュアルを例として、それらの計算法が理論的に誤りであるという指摘を行っている。本稿は、城所(2002)で示された見解を踏まえて、実務での便益計測方法について再解釈し、それらの論点が新規整備を含む場合の便益計測や料金形成原理の設定に関係することを示す。それにより、城所論文で誤りであると指摘された運輸政策研究機構(1999)の計測方法が妥当性を持つことを主張する。

キーワード | 費用便益分析, 利用者便益, 新規整備便益, 混雑緩和便益, 料金形成原理

上田孝行

UEDA, Takayuki

工博 東京工業大学大学院理工学研究科助教

森杉壽芳

MORISUGI, Hisayoshi

工博 東北大学大学院情報科学研究科教授

林山泰久

HAYASHIYAMA, Yasuhisa

工博 東北大学大学院経済学研究科助教

## 1 はじめに

公共事業に関する説明責任への要求を受けて、各事業分野別に事業の事前評価に適用するための費用便益分析指針(ガイドラインまたはマニュアル)が既に刊行されている。とりわけ、交通整備事業については、道路、鉄道、航空、港湾と指針が出揃っており、既に実務に供された多くの実績を持つ。

筆者らの見るかぎりでは、どの指針においても、便益の計測に先立って行われる需要予測の作業については、先進的な手法を用いることだけに限定するのではなく、それらの指針が刊行される以前から実務で広く用いられてきた手法を使用することも許容されている。それらの予測手法は通常の教科書的なミクロ経済学の行動モデルに必ずしも厳密に依拠している訳ではない。一方、便益の定義と計測方法は、理論的にはミクロ経済学の行動モデルと整合するものである。そのため、需要予測と便益計測の作業を整合的に行うには、留意しておくべき事項が少なからずある。特に、指針においては両者の理論的な基盤について十分に解説されていない場合、あるいはそれが参考文献に委ねられていても文献がバランスよく選択されていない場合が多数見受けられる。その結果として、標準的な経済理論に慣れ親しんだ専門家には不要にも指針が理論的な不備を持つかのような印象を与えてしまわないか、そして、実際に指針を使用して計算を行う担当者には理論的な背景や重要な留意点を配慮することなく作業を進めることを認めてしまう結果に

ならないか、と危惧される。

以上のような状況の中で、注目すべき一つの論文として、城所(2002)(以下、城所論文と呼ぶ)が公表された。そこでは、交通整備事業の便益定義と計測に関して、コンパクトな理論モデルが提示された上で、重要な理論的な留意事項が整理されている。その知見は、費用便益分析の理論的な基礎に精通した一部の専門家にとっては既知であったいくつかの命題から再構成されているものの、指針が定着しつつある現在において、重要な留意点に対して広く注意を喚起しようとする点で高く評価される。そして、明解な理論モデルから導出された命題に基づいて、運輸政策研究機構(1999)による鉄道整備事業の評価指針(以下、鉄道マニュアルと呼ぶ)に含まれている便益計算上の問題点を指摘/批判している。このような批判を経ながら、指針の内容について議論を重ねていくことは、我が国において費用便益分析が正しく定着し、ひいては科学的な社会資本整備評価が社会全般に受け入れられるようになるためにもきわめて重要であると筆者らは考える。

しかしながら、城所論文における鉄道マニュアルへの指摘と批判については、筆者らは異論を抱いている。鉄道マニュアルの便益計算方法を誤りであるとする批判が正当であるかどうかは、次のようなプロセスを経て判断されるべきである。すなわち、交通需要予測手法のこれまでの発展経緯、さらには交通調査の基本原則にまで立ち返り、かつ、それらと整合的なミクロ経済学的行動モデルを基盤として便益の定義と計測方法を明確にしなけ

ればならない。

本稿は、城所論文が誤りとしている鉄道マニュアルにおける便益計測方法について再検討を行い、結論として、城所論文とは相反して、鉄道マニュアルが示している便益計測法が十分に妥当性を持つことを主張する。以降では、まず、城所論文が誤りとしている内容について主に2つの論点を整理する。次に、それらの論点にそれぞれ対応した理論モデルを示して、筆者らの見解を述べていく。なお、本稿に含まれるモデルおよびそれに基づく知見のほとんどは既に上田・森杉(1997.a)、上田・森杉(1997.b)として公表されたものであり、本稿はそれらを再構成して書き改めた上で、再解釈を行ったものである。

## 2 城所論文の貢献と主たる論点

城所論文は簡潔な理論モデルを用いて、ネットワーク構造をもつサービスについての費用便益分析に関する重要な便益/費用項目の性質を的確に吟味している。交通整備事業の費用便益分析の理論的基礎を素早く理解する上で大変有用であり、応用経済学としての費用便益分析の発展に貢献しえるものであると評価できる。

しかし、その貢献と別にして、鉄道マニュアルに対する批判は、慎重に吟味することが必要であると筆者らは考えている。批判の要点は次の2点に集約される。

消費者余剰を計測する場合には、ODレベルの交通量ではなく、機関/経路/リンクレベルの交通量を用いるべきであり、マニュアルでいうように、機関等の一般化価格を交通量で加重平均したものをODレベルの一般化価格として用いるのは誤りである。

マニュアルで言う混雑緩和便益を加算する方法は誤りである。

については、城所論文での指摘を注意深く捉えておかなければならない。城所論文では需要を機関/経路/リンクで捉えた場合、整備の対象である機関/経路/リンクのサービスレベル(一般化価格)だけが変化して、他の機関/リンクについては変化しない場合を取上げて、その場合には当該サービスの消費者余剰変化だけを計測するべきであると主張している。この点は、城所論文による指摘を待つまでも無く、後ほど示すように多変数関数を線積分表示した場合の数学的特性から、直ちに支持される。この場合に残る重要な問題は、第一は、機関/経路/リンクレベルでサービスレベル(一般化価格)を常に的確に設定できるかどうかという点である。これは、新たな機関や路線が整備される、いわゆる新規整備の場合に問題になる。新規整備の場合には整備無では当該サービスの需要はゼロであり、そのときのサービスレベ

ルをどのように設定するべきかという非常に困難な問題に直面する。第二は、ある特定のサービスについての整備であっても実際には交通システム全体へ影響が及び、他のサービスについてもサービスレベルが変化する。交通需要のシフトによる混雑水準の変化だけでなく、アクセス等の補完的なリンクの整備も行われるため、厳密にはネットワーク全体でサービス水準の変化が生じる。そのため、整備される当該サービス以外のサービスについてサービスレベルが変化しないという想定が計算上の簡便性を優先した措置であるとした場合に、そのもとであっても、より現実的な便益推定へ近づける方法は有り得るかという問題がある。

城所論文では、鉄道マニュアルに記載されている都市間鉄道整備の例題を対象にして、サービスレベルの変化していない鉄道以外の機関まで含めた加重平均の一般化価格を用いて、ODレベル需要で利用者便益を計算することが過大推定であるとしている。これが単に上に述べたような場合にのみ理論的に誤りであるとしているとすれば、議論の余地も無く城所論文の指摘は正しい。しかし、城所論文を読む限り、ODレベルでの需要と一般化価格を用いることについて、例題の場合を超えて一般的に誤りとしているのかどうかについては判断としない。もし、整備対象の当該サービス以外について、とりわけ当該サービスと代替性が強いサービスの一般化価格も変化するような場合においても誤りであると主張しているならば、これについては適切ではない。この点は注意深く再検討が必要である。

4段階推定法を代表とする実務で広く使用されている需要予測法の特性を考えると、それらは当該サービスだけでなく交通システム全体へ整備の影響が及ぶ場合を広く表現できることを意図していると思われる。また、城所論文では、新規整備の場合に、整備されるサービスについて機関/経路レベルで整備無での一般化価格を推定することが重要な研究課題であると言及している。しかし、この問題こそが、本稿で詳述するように、ODレベルの需要と一般化価格を用いることによって回避される問題である。そのため、筆者らはまずは一般的にはODレベルの需要と一般化価格を使用することが妥当であると考え。そして、そのもとで改めて城所論文が理論的に誤りであると指摘している当該サービス以外の一般化価格が変化しない状況においても、鉄道マニュアルの方式がある簡便法に対応すると解釈することができることを示す。

については、料金形成原理の問題と大きく関連しており、想定している形成原理がどのようなものであるかを明確にした上で吟味しなければならない。交通サービスの料金は、教科書的な最適料金の理論が示唆するよう

には実際は設定されていない。最適料金が設定されている場合には、城所論文が指摘するように混雑緩和による便益を社会的純便益に含めることは適切でない。しかし、筆者らの見るがきりは、鉄道マニュアルではそのような最適料金が設定されることを必ずしも想定していない。従って、鉄道マニュアルの想定している事業のタイプとその計算方法の範囲において混雑緩和の便益を計測して社会的純便益に含めることは妥当であると言える。

本稿では、論点を上記2点に絞って、それぞれ簡単な理論モデルを用いて議論していく。

### 3 消費者余剰による便益計測の基本モデル

#### 3.1 新規整備便益の計測

本項では城所論文の論点 が新規整備の場合における利用者便益の計測に深く関係していることから、その計測についての議論から進める。

社会基盤施設を整備した際の便益を計測するに当たっては、大別してa)間接効用関数、支出関数、Hicks型補償需要関数を用いて定義される等価的偏差(EV)、補償的偏差(CV)の概念とb)市場で直接観測可能な需要関数に基くMarshall-Dupuit型の消費者余剰増分(MD)の概念が用いられてきた。社会基盤施設が新たに整備される場合には、整備無の場合には存在しなかったサービスが加わることになる。すると、通常の公共経済学等の教科書で扱われるようには、需要関数に取り入れられた価格変数が有限の範囲で変化するとは見なせない場合が生じる。

このような場合において、以上のような便益概念の概念をどのように用いるべきか、また、実際に簡便な計測法で計算する場合にはどのような方法が適切かという問題はきわめて重要である。Le, Morisugi, and Ohno (1992)以下、LMOと記す)はこの問題についてEVの概念を用いて非線型方程式を解くことで計測可能であるとしている。しかし、それは唯一の方法ではなく、また、実務において多大な労力を要して行われる需要予測とどのように整合するのかという点については明らかにしていない。そこで、本稿では、これらの点についての若干の整理を行い、需要予測において用いられる情報を活用した簡便な便益計測法の可能性を検討する。

#### 3.2 利用者(消費者)行動モデル

本稿は社会基盤施設の利用者の行動を表わす次のような効用最大化モデルに基いて議論を進める。まず、利用者は合成財消費量 $z$ 、サービス1とサービス2の消費量 $x_1, x_2$ の関数として表される効用水準を最大化する。

効用は合成財に関する準線形効用関数(例えば、Varian (1992)を参照)で表される。合成財の価格は1に基準化されており、サービスの価格は時間費用も含む一般化価格(または一般化費用)として、 $q_1, q_2$ である。利用者の一般化所得(full income)は $y$ であり、これらを用いて、次の効用最大化問題を定式化する。

$$V(q_1, q_2, y) = v(q_1, q_2) + y = \max_{z, x_1, x_2} u(x_1, x_2) + z \quad (1.a)$$

$$\text{s.t. } z + q_1 x_1 + q_2 x_2 = y \quad (1.b)$$

$$z, x_1, x_2 \geq 0 \quad (1.c)$$

ここで、 $V(\cdot)$ : 間接効用関数、 $u(\cdot)$ :  $x_1, x_2$ : に関する直接効用関数である。

#### 3.3 EVによる新規整備の便益定義

社会基盤施設は、上記モデルのサービスを生み出すと見なす。新規整備の場合には、LMO(1992)の捕らえ方では、実際には整備無の場合に比べて一種類新たに財が加わることと見なし、以下の $B$ で便益を定義している。

$$V^a = V(q_1^a, y^a) = v_1(q_1^a) + y^a \quad (2.a)$$

$$V^b = V(q_1^b, q_2^b, y^b) = v(q_1^b, q_2^b) + y^b \quad (2.b)$$

$$V^b = v_1(q_1^a) + y^a + B \quad (2.c)$$

ここで、 $a, b$ : それぞれ整備の無と有を意味する添字、 $v_1(\cdot)$ : サービス1の価格と属性に依存した部分間接効用関数、である。

上記のような表現は、形式的には整備の有無が効用関数自体を変化させ、利用者の選好を変えることになり、評価の前提自体に抵触すると言える。そこで、もう一方には、整備無の場合にはサービス2の価格が無限大であり、それが整備有の場合にある有限の値まで変化すると見なす解釈がある。この場合は(1.a)の間接効用関数を用いて、次のように便益を表わす。

$$q_1^a = \infty \rightarrow q_2^b < \infty \quad (4.a)$$

$$V(q_1^a, \infty) + y^a + B = v(q_1^b, q_2^b) + y^b = V^b \quad (4.b)$$

以上のような $B$ (形式上はEVに相当するがこの場合はEV, CV, MDのいずれでも等価)で便益を定義するには、価格無限大( $q_2 = \infty$ )の極限のもとで間接効用関数が定義できる、すなわち、間接効用関数が当該価格の増加に対して上限値を持ち、それに単調に収束することが必要になる。そのとき、適切に選ばれた十分に高い水準以上の価格に対して(4.b)の解として得られる $B$ が安定して

いれば、実用的にはその値をもって便益の計測値とすることができる。

### 3.4 需要関数を用いた新規整備の便益定義

間接効用関数を定義してそれを推計するのは実際には容易でなく、そのため、実務的には需要予測作業の中で得られる需要関数や整備無と整備有の場合の需要量等を用いて消費者余剰の変化に着目して便益を計測する場合が多い。いわゆる Short Cut法(例えば、森杉(1984))は一般均衡需要関数を用いて波及効果も含めた社会的便益を計測するものであり、このアプローチを理論的に見て最大限にまで拡張したものであると言える。しかし、本節では波及効果を含めないで、利用者便益を計測する場合を念頭において議論する。そのため、ここでは所得の変化による便益を考慮せず、以下では  $y^a = y^b$  とする。

前節で用いたEVによる便益定義を需要関数を用いて表わすと次のようになる。

$$\begin{aligned}
 B &= v(q_1^b, q_2^b) - v(q_1^a, \infty) \\
 &= \oint_{(q_1^a, \infty) \rightarrow (q_1^b, q_2^b)} \left( \frac{dv(q_1, q_2)}{dq_1} dq_1 + \frac{dv(q_1, q_2)}{dq_2} dq_2 \right) \\
 &= - \oint_{(q_1^a, \infty) \rightarrow (q_1^b, q_2^b)} (x_1(q_1, q_2) dq_1 + x_2(q_1, q_2) dq_2) \quad (5) \\
 &= \oint_{(q_1^b, q_2^b) \rightarrow (q_1^a, \infty)} (x_1(q_1, q_2) dq_1 + x_2(q_1, q_2) dq_2)
 \end{aligned}$$

消費者余剰による便益定義はこの線積分を計算したものである。積分経路を複数の線形区間に区分して区間毎にいわゆる台形面積で近似すれば、次のようになる。

$$\begin{aligned}
 MD &= \frac{1}{2} \sum_{\omega \in \Omega} \{ (x_1^\omega + x_1^{\omega+1})(q_1^\omega - q_1^{\omega+1}) \\
 &\quad + (x_2^\omega + x_2^{\omega+1})(q_2^\omega - q_2^{\omega+1}) \} \quad (6)
 \end{aligned}$$

ここで、 $\omega \in \Omega = \{1, \dots, \Omega\}$  : 積分経路を区分した各線形区間の始点を表わすラベル、 $\omega = 1$  と  $\omega = \Omega$  がそれぞれ  $a, b$  に対応する。

通常の教科書的な公式では、このような複数の区間への区分は行わず、価格変化について一つの区間を考え、台形近似公式を適用する場合を解説してある。

前節で述べた無限大からの価格変化により新規整備を表現するという考え方に従えば(6)右辺の第2項で便益を計測するには、積分経路上で始めの方の区間は無限大価格を含むため、その区間について(6)右辺の内第2項に含まれている台形面積が適切に計測できるかどうか問題になる。特に、当該社会基盤施設のサービスへの需要に対応する項についてそれが問題となる。観察

できるのは、整備無の場合に当該社会基盤施設のサービスに対する需要がゼロという状態であり、整備有の場合については予測値としての需要量と価格が計測されるだけで、その間の経路に関する情報は乏しい。実際的な方法としてはある価格水準(禁止的価格と呼ばれる)以上の区間については台形面積をゼロと見なし、それ以外の区間について(6)を計算する方法であるが、その価格水準の設定にMDの計測結果が大きく依存することになる。(このことは図1のように直観的に捉えることができよう。)しかも、現在のところ、一般的に合意された禁止的価格の設定方法は筆者らの知る限り存在しない。

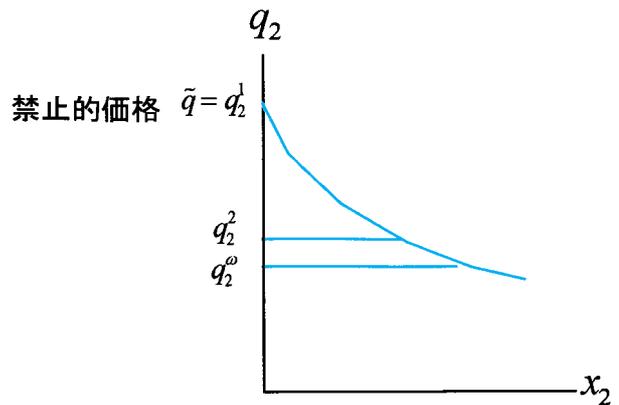


図1 禁止的価格と消費者余剰

### 3.5 代表価格を用いた利用者便益の計測法

社会基盤施設サービスの消費は一般にはそれと同種の機能を果たす他のサービスとの間で代替関係をなしている。従って、それらの代替関係をなしているサービスを一つの財グループ(同一目的地への各機関別の交通サービスまたは経路別の道路サービスからなるグループなど)とみなし、その財グループに対する総需要量とそのグループの代表価格を適切に定義できれば、それらを用いてMDを定義・計測するというアプローチが可能になる。

サービス1と2がそのようなグループ化して捉えられる性質を持つとして、グループ全体に対する需要  $X$  と代表価格  $g(\cdot)$  を次のように定義する。

$$X(g) = x_1 + x_2 \quad (7.a)$$

$$g = g(q_1, q_2) \quad (7.b)$$

これを用いると(6)の便益定義は次のように表わすことができる。

$$\begin{aligned}
 MD &= \frac{1}{2} \sum_{\omega \in \Omega} \{ X(g(q_1^\omega, q_2^\omega)) + X(g(q_1^{\omega+1}, q_2^{\omega+1})) \} \\
 &\quad \times \{ g(q_1^\omega, q_2^\omega) - g(q_1^{\omega+1}, q_2^{\omega+1}) \} \quad (8)
 \end{aligned}$$

代表価格関数が当該社会基盤施設のサービスの価格が無限大である場合を含む積分経路の最初の区間に対

して安定的な値を示し、かつ、総需要が代表価格に対して極端に弾力的でない場合には(8)を用いることの方が(6)を用いるよりもBの計測値は安定的になる。

このような代表価格関数は、効用関数に財のグループについて分離可能性(宇沢(1989), Varian(1992)などを参照)を満たすための条件が課されるため、効用関数の形式毎に決定されなければならない。その方向として第一に、グループに対してHomotheticな部分効用関数が定義できる場合は、その単位支出関数(例えば、Varian(1992)を参照)を代表価格関数に用いることができる。第二に、Wardrop原理に従う経路選択のように、グループ内で財が完全に代替的でしかも選択が確定論的に行われている場合には、正の需要量が実現している財についてはそれらの価格は同一水準にあり、代表価格はそれを用いることができる。実際には、厳密な意味での確定的な選択の結果として異なる財の価格が一致しているという状況が観測・予測されるとは考えられない。そのため、第三に、財グループ内での各財の需要シェアがグラビティモデルやロジットモデルなどで表わされる場合は、近似的には代表価格を需要シェアで重み付けした平均価格としてそれを用いること、あるいはそれと整合的な代表価格関数としてポテンシャルやログサム関数を用いることが考えられる。そして、それらの関数の近似として上述の平均価格を用いることが考えられる。

### 3.6 離散選択行動と便益計測

#### (1) 離散的な選択としての交通現象

交通量はトリップを単位として調査されている。とりわけ、交通量調査は年間の内で特定の1日または数日を対象として行われるため、調査期間中に発生したトリップは離散的な選択の結果として生じているものとして捉えられていることに特徴がある。このように観測される膨大なトリップは、発地/着地(発生/集中)、発着地(分布)、交通機関(分担)、経路(配分)別に集計され、需要予測モデルも各段階の集計量が相互に整合するように構築される。

従って、通常のマクロ経済学の教科書において説明されるような連続的な消費量の選択問題とは異なった捉え方のもとに伝統的な交通需要予測は発展してきた経緯があると言える。とりわけ、非集計行動モデルが適用される機関選択や経路選択の捉え方においてはその傾向が強いように見られる。

無論、年間交通量として集計データを用いる場合の分析や、調査された一日が年間の平均な交通現象を表現しているとみなす場合には、連続的な選択行動として交通需要モデルを構築することも妥当である。このような伝統的な交通需要予測モデルと通常のマクロ経済学の需

要関数を融合した典型的な形式として、交通均衡モデルにおける需要変動型交通配分モデル(例えば、土木計画学研究委員会(1998)などを参照)がある。この種のモデルでは、OD別交通量は連続選択の需要関数(または逆需要関数あるいは消費者余剰関数)で表現して、トリップを単位とした経路別交通量は離散的な選択の原理に従って表現している。

#### (2) 確定論的な離散選択の場合

このようなモデルの考え方を効用最大化問題の枠組みで定式化したものとして、次のような形式のモデルを考えることができる。

$$V(q_1, q_2, y) = \max_{X, x_1, x_2, z} u(X) + z \quad (9.a)$$

$$\text{s.t. } q_1 x_1 + q_2 x_2 + z = y \quad (9.b)$$

$$x_1 + x_2 = X \quad (9.c)$$

$$x_1, x_2, X \geq 0 \quad (9.d)$$

この問題を解くためのラグランジュ関数を次のように定義する。

$$L = u(X) + z - \phi(q_1 x_1 + q_2 x_2 + z - y) - \varphi(X - x_1 - x_2) \quad (10)$$

1階の条件は次のような相補性問題を構成する。

$$\left(\phi - \frac{\partial u(X)}{\partial X}\right)X = 0 \quad (11.a)$$

$$\phi - \frac{\partial u(X)}{\partial X} \geq 0 \quad (11.b)$$

$$X \geq 0 \quad (11.c)$$

$$(\phi q_1 - \phi)x_1 = 0 \quad (11.d)$$

$$\phi q_1 - \phi \geq 0 \quad (11.e)$$

$$x_1 \geq 0 \quad (11.f)$$

$$(\phi q_2 - \phi)x_2 = 0 \quad (11.g)$$

$$\phi q_2 - \phi \geq 0 \quad (11.h)$$

$$x_2 \geq 0 \quad (11.i)$$

$$(\phi - 1)z = 0 \quad (11.j)$$

$$\phi - 1 \geq 0 \quad (11.k)$$

$$z \geq 0 \quad (11.l)$$

および(9.b)と(9.c)

検討に値しない意味の無い場合を排除するために、 $z > 0$ ,  $X > 0$ ,  $x_1 > 0$ を仮定すると、

$$\varphi = \frac{\partial u(X)}{\partial X} \quad (12.a)$$

$$\phi = 1 \quad (12.b)$$

$$\varphi = q_1 \quad (12.c)$$

整備無においてサービス2の需要がゼロ, すなわち,  $x_2 = 0$  であるとすれば (11.d) と (11.h) から,

$$\varphi^a = q_1^a < q_2^a \quad (13)$$

これは利用されていないサービス(経路)についてはその一般化価格が利用されている経路のそれよりも高いというWardrop原理の一部を表している. 一方, 整備有では  $x_2 > 0$  となるとすれば (11.d) と (11.g) から

$$\varphi^b = q_1^b = q_2^b \quad (14)$$

これは利用されているサービス(経路)については一般化価格が等しいというWardropのもう一つの重要な原理を表している. すなわち, 両方のサービスの一般化価格が (14) のように一致している場合はそれらは消費者にとって無差別になる. 従って, このラグランジュ乗数が (7.b) の代表価格の役割を果たし, 次のように表せる.

$$\varphi = g(q_1, q_2) = \min\{q_1, q_2\} \quad (15)$$

なお, 確定的な消費者行動のモデルだけでは  $x_1, x_2$  の値は確定しないが, 実際の交通需要予測モデルでは, 経路の一般化費用が交通量の関数として与えられて, かつ, 一定の条件を満たせば交通均衡問題の解として  $x_1, x_2$  は決定される.

仮に  $X = 1$  において, 1人の利用者が1単位のサービスしか消費しない状況であればサービス1かサービス2のいずれかを離散的に選択する状況になるが, 以上の原理は当てはまる.

この場合において, サービス1と2のそれぞれについて消費者余剰の変化で便益を定義するとどのようになるかを考えてみる. サービス1の価格水準がどのような水準であってもサービス2の需要をゼロとするような  $q_2$  の中で最小値を禁止的価格と定義してそれを  $q_2^c$  とする. そして, 代表価格もそれに対応して  $\varphi^c (= q_1^c = q_2^c)$  とすれば, 便益は次のように書き改められる.

$$\begin{aligned} B &= - \oint_{(q_1^a, \infty) \rightarrow (q_1^c, q_2^c)} \{x_1(q_1, q_2)dq_1 + x_2(q_1, q_2)dq_2\} \\ &= - \oint_{(q_1^a, \infty) \rightarrow (q_1^c, q_2^c)} \{x_1(q_1, q_2)dq_1 + x_2(q_1, q_2)dq_2\} \quad (16) \\ &- \oint_{(q_1^c, q_2^c) \rightarrow (q_1^b, q_2^b)} \{x_1(q_1, q_2)dq_1 + x_2(q_1, q_2)dq_2\} \end{aligned}$$

この積分経路上において, 区間  $(q_1^a, \infty) \rightarrow (q_1^c, q_2^c)$  では, サービス2の需要はゼロであるため, グループの需要はサービス1の需要と一致しており,  $x_1(q_1, q_2) = X(\varphi)$  が成立つ. また, 区間  $(q_1^c, q_2^c) \rightarrow (q_1^b, q_2^b)$  ではグループの需要はサービス1と2の和であり,  $x_1 + x_2 = X(\varphi)$  が成立っている.

これらを考慮すると,

$$\begin{aligned} B &= - \oint_{(q_1^a, \infty) \rightarrow (q_1^c, q_2^c)} x_1(q_1, q_2)dq_1 \\ &- \oint_{(q_1^c, q_2^c) \rightarrow (q_1^b, q_2^b)} \{x_1(q_1, q_2)dq_1 + x_2(q_1, q_2)dq_2\} \quad (17) \\ &= - \int_{\varphi^a}^{\varphi^c} X(\varphi)d\varphi - \int_{\varphi^c}^{\varphi^b} X(\varphi)d\varphi \\ &= - \int_{\varphi^a}^{\varphi^b} X(\varphi)d\varphi \end{aligned}$$

従って, グループ全体への需要について代表価格を用いて消費者余剰の変化分を計測することに一致する. 注意すべきは (17) の最下行に着目すると, 最終的には  $\varphi^c$  の水準を特定する必要が無いことである. 代表価格は整備無ではサービス1の価格に一致しており ( $\varphi^a = q_1^a$ ), 整備有ではサービス1と2の両方の一般化価格に一致 ( $\varphi^b = q_1^b = q_2^b$ ) しているため, 既に述べたような禁止的価格の設定に関する困難も回避されている. これを図示すると図 2 ようになる.

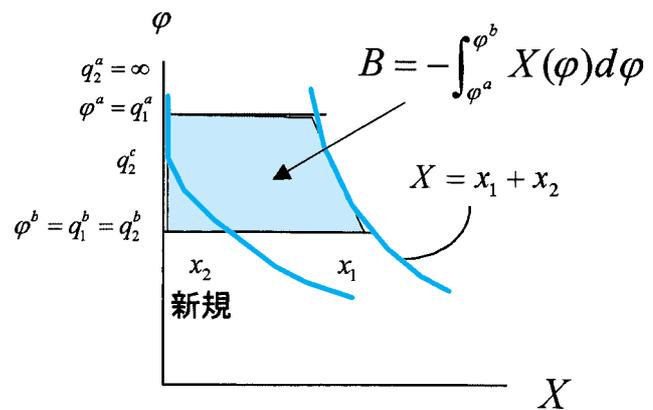


図 2 グループに対する消費者余剰の変化

次なる問題は, 実務的にこのような代表価格をどのように推定するかということである. サービス別の需要量で重み付けた平均値を計算すると, 自明であるが, それは整備の有無のそれぞれについて次のように代表価格に一致する.

$$\frac{x_1^a q_1^a}{X^a} = \frac{X^a q_1^a}{X^a} = q_1^a = \varphi^a \quad (18.a)$$

$$\frac{x_1^b q_1^b + x_2^b q_2^b}{X^b} = \frac{(x_1^b + x_2^b) \varphi^b}{X^b} = \frac{X^b \varphi^b}{X^b} = \varphi^b \quad (18.b)$$

従って、理論的には複数のサービスが完全に代替的であれば、グループに対する代表価格は需要で重みづけられた平均値に一致する。

### (3) 確率論的な離散選択の場合

ロジットモデルに代表される確率的な離散選択モデルでは(11.d)から(11.i)が構成する相補性条件において、各サービスの一般化価格が利用者には確定的には認知されない場合、あるいはモデルを作成する観測者の立場からも確定的に特定化することができない場合(Pudney(1989), 上田・福本(2001)を参照)を表現している。既に相補性条件として示した1階の条件にランダム項を導入してロジットモデルをミクロ経済学的な効用最大化問題の中で解釈するアプローチを示したSasaki(1982)を参考にすれば、サービス1が選択される確率と2が選択される確率は

$$P_1 = \Pr[x_1 = X] = \Pr[q_1 + \varepsilon_1 < q_2 + \varepsilon_2] \quad (19.a)$$

$$P_2 = \Pr[x_2 = X] = \Pr[q_1 + \varepsilon_1 > q_2 + \varepsilon_2] \quad (19.b)$$

このとき、代表価格は

$$\varphi = E[\min\{q_1 + \varepsilon_1, q_2 + \varepsilon_2\}] \quad (19.c)$$

となる。

ランダム項をI.I.D.Gに仮定すれば、周知のように、ロジットモデルによる選択確率とそれと整合する代表価格としてログサム関数が得られる。

$$P_1 = \frac{\exp(-\theta q_1)}{\exp(-\theta q_1) + \exp(-\theta q_2)} \quad (20.a)$$

$$P_2 = \frac{\exp(-\theta q_2)}{\exp(-\theta q_1) + \exp(-\theta q_2)} \quad (20.b)$$

$$\varphi = -\left(\frac{1}{\theta}\right) \ln\{\exp(-\theta q_1) + \exp(-\theta q_2)\} \quad (20.c)$$

ログサム関数を代表価格に用いた場合も整備無で $q_2^a = \infty$ とすれば、

$$\varphi^a = -\left(\frac{1}{\theta}\right) \ln\{\exp(-\theta q_1^a)\} = q_1^a \quad (20.d)$$

となり、既存のサービス1に対する価格と一致する。

これを代表価格として用いれば、先の確定的な場合と同様にグループに対する需要に着目して代表価格を用いて消費者余剰の変化を計算することで利用者便益が推定できる。

サービスのグループとして、交通需要予測の場合は、OD需要が典型的であり、サービス1と2は機関別のサービス、あるいは、経路別のサービスが相当する。以上の展開を踏まえれば、新規整備を含むプロジェクトを評価するに当たって、禁止的価格の推定という非常に困難な作業を回避して利用者便益を計測するには、サービスのグループに対する需要に着目して、代表価格で消費者余剰の変化を計算するべきである。

### 3.7 グループの需要と代表価格を用いた計測の妥当性

以上の展開と城所論文の指摘の両者を踏まえて、利用者便益の計測について本稿が主張する留意点を述べる。

交通整備の影響が微小なりとも何らかの形でシステム全体にわたってサービスレベルの変化をもたらすような場合においては、相互代替的な複数のサービスを一つのグループとして捉え、その需要と一般化費用を用いて消費者余剰の変化を計算することは妥当である。とりわけ、新規整備便益の場合には、整備無においては整備されるサービスについては機関/経路/リンク等のレベルでは需要がゼロとなっており、それに対応した禁止的価格を正確に求めることは極めて困難である。また、設定した価格に応じて利用者便益の値が非常に敏感に変動する。そのため、このような場合に、機関/経路/リンク等のレベルの需要に基づいて当該サービスの消費者余剰の変化を計算しても信頼性は期待できない。そのため、この問題を回避する方法としては、代替的な交通サービスをグループとして捉えたものの典型であるODレベルの需要に着目することが妥当である。ODレベルでの一般化価格は、代表価格によって定義されるが、それには加重平均やログサム関数を用いることができる。

城所論文では、確定論的な選択でWardrop原理に従って代替的サービスの間で一般化価格が一致している場合は、わざわざ加重平均を用いる必要はないとしている。理論的な分析の範囲においてそのような理想的な均等化が実現していると仮定することは分析を簡明にするために大きな意義を持つ。そして、それはWardrop原理として実際の計算においても大きな役割を果たしていることは周知のとおりである。しかし、そのような理論分析で分析者が都合よく想定したことが実スケールの交通ネットワークを対象として、実際に観測されたデータを用いた計算においても成立すると無邪気に受けとめるべきではない。

確定論的な利用者均衡配分のようにその原理を忠実に保持しようとするモデルを適用した場合でも、収束した結果には数値計算である限りは各サービスの間で一般化価格にはわずかながらの差が残存している。また、

実務で多用されている分割配分法による場合には、一般化価格は均等化しないままに配分計算が終了している。このような場合は、本来はWardrop原理に従って均衡状態で均等化している一般化価格を推定する方法として、加重平均を用いることはもっとも簡便な方法として適切である。

また、ロジットモデルに代表される確率論的な選択行動モデルを用いた交通モデルの場合は、確定論的な一般化価格の均等化という厳しい条件を緩和し、かつ、行動理論としての整合性を保ちながら実際の観測結果に適合する交通需要量を推定しようとするアプローチである。その意味からもロジットモデルによるログサム関数を用いるのは、実際には均等化しているとは見なし難い状況において、複数のサービス毎の一般化価格を代表化して一元化するための適切な方法である。

なお、ロジットモデルのログサム関数は宮城・小川(1985)の共役性理論による表現を用いると次のように表せる。

$$\begin{aligned} \varphi &= P_1 q_1 + P_2 q_2 - \left(\frac{1}{\theta}\right) (P_1 \ln P_1 + P_2 \ln P_2) \\ &= \left(\frac{x_1}{X}\right) q_1 + \left(\frac{x_2}{X}\right) q_2 - \left(\frac{1}{\theta}\right) \left\{ \left(\frac{x_1}{X}\right) \ln \left(\frac{x_1}{X}\right) + \left(\frac{x_2}{X}\right) \ln \left(\frac{x_2}{X}\right) \right\} \quad (21) \end{aligned}$$

この表現から、もし、 $\theta$  が十分に大きい場合、すなわち、サービス間の代替性が非常に大きい場合は、後半部のエントロピー項が無視でき、ログサム関数の値も前半部の加重平均によって近似することができる。無論、ロジットモデルが既に推定されている場合は、ログサム関数を用いれば良い。しかし、この形式は一般化価格が均等化していない場合に加重平均値を近似的に代表価格として用いることの一つの根拠を与えると解釈できる。無論、どのような工学的近似であれ、その程度は実際の検証を経なければならず、それはこれを根拠とする場合に当てはまる。

次に、城所論文が問題としているような、整備されるサービス以外の一般化価格が変化しない場合について考えてみる(6)の線積分形式での一般化消費者余剰において、積分経路上で常に  $dq_1 = 0$  であるとすれば、残るのは積分記号内の第2項だけであり、結局は整備対象のサービス2のみについて消費者余剰を計算することになる。そして、線積分を台形近似した(6)においても、 $q_1^{\omega} = q_1^{\omega+1}$  が常に成立しているとすれば、同様に、サービス2のみについて消費者余剰の変化を台形近似によって計算する部分だけが残ることになる。ロジットモデルによる確率論的な選択行動モデルの場合でも、ログサム関数を間接効用関数あるいは一般化消費者余剰と見なせば、Williams(1977)に早くから示していたように(5)

の線積分または(6)の台形近似式が成立するため、一般化価格の変化しないサービスについては消費者余剰の変化を計算する必要はないということになる。

以上の城所論文の指摘はそれが想定している状況が実際に成立している限りは理論的に全く正当である。しかし、当該サービス以外の一般化価格が変化しないという想定は、実際の計算作業上の困難に起因した一つの大胆な仮定であるとも言える。城所論文が問題視している鉄道マニュアルおける都市間鉄道の例題においても、鉄道整備は実際には何らかの影響プロセスを通じて他機関のサービスレベルにも影響を及ぼす。しかし、都市間鉄道整備が他機関のサービスレベルの変化へ及ぼす影響は、簡便かつ正確に推計することは必ずしも容易ではない。道路ネットワークのような均衡分析を用いる場合であれば、代替的な経路のサービスレベルの変化は直接的に出力されるが、都市間鉄道の分析では通常はそのような均衡分析は行われない。そこで、鉄道以外の機関のサービスレベルは一般化価格としては整備有でも変化しないように計算上は設定せざるを得ない場合がある。そのような場合でも、実際にはサービスレベルの変化が生じることを考慮して便益計算に反映させるという簡便法が考えられる。その一つとして、再び、ODレベルでの需要と代表価格を用いることが考えられる。代表価格は、実際には他の機関で生じるサービスレベルの変化を考慮した場合のODレベルでの一般化価格への一つの接近であると解釈することもできる。加えて、既に述べた新規整備の場合におけるこのアプローチの有用性を考慮すれば、代表価格の使用は実用上の有用な一つの手法として妥当であると言える。

鉄道マニュアルの都市間鉄道の例題でも、注意深く見ると、利用者便益と供給者便益を計算した後で、鉄道へ交通量が転換することによる道路の速度向上、すなわち、道路の混雑緩和によるサービスレベルの向上を便益として加えている。このことは上に述べたように、本来は鉄道整備が道路の一般化価格に影響を及ぼすことが認識されていると思われる。確率論的な利用者均衡を厳密に適用する場合は、本来は道路のサービスレベルの変化を機関選択モデルにフィードバックして均衡するまで計算を繰り返すことになるが、例題は簡便な方法で均衡に接近しようと試みていると解釈できる。そのもとで利用者便益を算定しようとしていると考えられる。ただし、鉄道マニュアルの例題で言う道路が主に有料道路であるとすれば、例題では道路事業者の余剰変化についても計測して考慮しておく必要がある。この点は例題の説明では判然としないが、本節は利用者便益の計測に関する論点に焦点を絞っているため、これ以上は議論しない。

本章で示した見解は、理論的には交通現象が離散的選択として捉えられており、新規整備の場合も安定的に利用者便益を計測するためには、代表的価格の考え方をを用いるべきであるという主張である。それを以下に整理して列挙しておく。

a) 確定論的な選択を理論的ベースとした交通需要モデルを用いる場合であっても、実際の計算結果から均衡状態へ接近するためには、代表価格として加重平均を用いることが妥当である。

b) 確率論的な選択の場合は期待最小値を用いることができ、ロジットモデルの場合はログサム関数を用いることが妥当である。

c) ロジットモデルの場合であっても、代替性が強い場合は、加重平均は代表価格の近似として用いることができる可能性がある。

d) 整備される当該サービス以外はサービスレベル(一般化価格)が設定上変化しない場合でも、実際には変化している場合には、代表価格を用いることは均衡への接近として解釈できる。

以上の内、c)とd)は近似としての解釈を示したに留まっているため、それらが実際にどの程度の近似であるかは、精緻な検証が必要である。c)については、ロジットモデル以外の確率論的な選択モデル(プロビットモデルを含む各種のモデル)についても、これまでの適用例を体系的にレビューすることが必要であり、これはある程度組織的に調査を実施しなければならないであろう。d)については、都市間交通を対象とした精緻なモデルを作成して、均衡概念を明示して、都市間でのあるサービスの整備が他の代替的サービスのサービスレベルにどの程度の影響を与えるかを精査しておく必要がある。そして、その場合には、ロジットモデル以外の選択行動モデルを組み入れることを是非とも検討しなければならない。

城所論文で試算されている過大推計の程度は例題でロジットモデルが採用されていること、および設定パラメータの数値に大きく依存している可能性がある。従って、指摘されている過大さの程度が一般的であるかどうか現段階では慎重さをもって受けとめておき、是非とも感度分析を行うべきであろう。

以上から、c)とd)については実際の計算における信頼度を精査するためのこのような作業を経た上で判断すべきである。そのための大規模かつ組織的な調査・研究が是非とも必要である。

## 4.1 次善的料金形成について

ほとんどの指針では、料金(サービス価格)設定については現行の水準と同じ程度の料金水準を外生的に仮定/設定して社会的便益を計測することになっているか、あるいは、特定の料金形成原理に従って料金を設定することを示唆していない。料金水準は、既に前節で議論したような利用者便益を支配するだけでなく、社会的純便益を考える上でのもう一つの重要な項目であるサービス供給者の便益を根本的に支配する。料金形成原理は利用者側にはその行動を通して外部性、特に混雑による厚生損失をコントロールする重要な政策手段である。また、供給者に対しては、それが規模の経済性を持つような場合にはそれに起因した厚生損失をコントロールする上で最も重要である。

城所論文は、鉄道マニュアルにおいて混雑緩和の便益を、社会的純便益を構成する項目として含めることは誤りであるとしている。しかし、この点については、一般的に、あるいは無条件に誤りであるとするべきではない。様々な料金形成原理に応じて、利用者側と供給者側の便益をそれぞれ計測した上で、それらの積み上げによって社会的純便益を計測する場合には、後述するように適切に実行される限りは、混雑緩和便益を利用者側の便益として計測して含めることは問題ない。このことは、城所論文においても言及されている金本(1996)、および上田・森杉(1997.b)でも既に明らかにされていると言えるが、本稿では、それを再び吟味してみる。

金本(1996)は、特に道路混雑の発生している状況に焦点を当てて道路整備便益の計測方法を整理した研究である。そこでは、道路サービスの生産者(供給者)という概念が用いられ、混雑による時間損失のような外部不経済も供給者の余剰変化として表現されている。一般道路の交通サービスの場合は、いわゆる道路管理者がサービスの供給者としては認識されにくい。実際の運転は利用者自身が行っているため、交通サービスの供給者は利用者自らであると考えた方が理解しやすいであろう。その場合には、自らが自らのために交通サービスを自家生産かつ自己消費していると見ることができる。鉄道や航空の場合には、交通サービスの供給者は実態として利用者とは独立であり、明示的に料金の授受が行われる。加えて、次善的料金形成にはまさに鉄道事業のように供給者自体が規模の経済性を持つような場合も含まれる。そのため、料金形成原理を明示したより一般的な議論を展開するに当たっては、供給者を利用者とは別に存在する経済主体としてモデル化することが必要である。

## 4.2 料金形成原理を考慮するための理論モデル

### (1) モデルの基本的前提

本モデルでは、次のような主たる仮定を設ける。  
 代表的利用者(家計)が存在すると仮定し、その行動モデルは基本的には前節のモデルを踏襲する。  
 2種類の代替的サービスが存在し、前節と同様にサービス1と2とする。それぞれを供給する代表的供給者が存在する。なお、両方のサービスに共通する形式の変数や関数については適宜  $i, j (i \neq j) \in \mathbf{I} = \{1, 2\}$  のラベルを用いる。  
 各サービスの消費には時間  $t_i$  を要し、その変化に混雑などの外部不経済が反映されるとして、サービス需要量  $x_i$  と施設の性能(容量)  $\alpha_i$  の関数  $t_i = t(x_i, \alpha_i)$  で表す。サービスの料金  $p_i$  はいくつかの料金形成原理に応じて課せられるとする。従って、一般化価格は時間価値  $w$  を導入して  $q_i = p_i + wt$  と表す。また、料金形成原理は一般的には  $p_i = p(x_i, t_i)$  と関数で表し、代表的な料金形成原理は、この関数を特定化することで表現する。

サービスの供給者はそのために供給費用を負担し、それは所要時間と同様に関数  $c_i = c(x_i, \alpha_i)$  で表す。  
 サービス供給者の利潤  $\pi_i$  は利用者(消費者)へ所得として一括配当されるとする。負の利潤、すなわち、赤字の場合は逆に利用者は一括税を支払い、それを補填していると解釈する。一括税は、その存在自体は社会的厚生に影響を与えない種類の税であるため、本稿では論点を料金形成原理だけに絞るために採用する。これを利用者からの供給者への所得移転  $T_i$  として表す。

本モデルでは、一般化価格が内生的である場合(ただし、その特殊型として外生的な場合を含む)を表現しているので、整備はサービス2の性能(容量)  $\alpha_2$  が向上することとして表現する。すなわち、 $\alpha_2^a \rightarrow \alpha_2^b$  とする。

### (2) 利用者の行動モデル

利用者の行動モデルは前節の(1.a)(1.b)と同様であるが、所得  $y$  を所得移転を考慮して次のよう書き改める。

$$y = \Omega - T_1 - T_2 \quad (22)$$

ここで、 $\Omega$  は所得移転前の総所得である。

### (3) サービス供給者の利潤

供給者は、サービスへの需要量を所与としてそれを必ず満たすだけの供給を行うとする。既に述べた仮定や設定から、供給者の利潤は次のように定式化される。

$$\pi_i = p_i(x_i, t_i) \cdot x_i - c(x_i, \alpha_i) + T_i \quad \text{for all } i \in \mathbf{I} \quad (23.a)$$

ただし、

$$\frac{\partial \pi_i(x_i, \alpha_i)}{\partial \alpha_i} > 0, \quad \frac{\partial \pi_i(x_i, \alpha_i)}{\partial \alpha_i} < 0 \quad \text{for all } i \in \mathbf{I} \quad (23.b)$$

### (4) 外部不経済

混雑による外部不経済は所要時間関数の性質として次のように表わす。なお、鉄道マニュアルでも混雑は時間換算されている。

$$\frac{\partial t_i(x_i, \alpha_i)}{\partial \alpha_i} > 0, \quad \frac{\partial t_i(x_i, \alpha_i)}{\partial \alpha_i} < 0 \quad \text{for all } i \in \mathbf{I} \quad (24)$$

### (5) 社会的総余剰

利用者の余剰と供給者の余剰の合計として社会的余剰を次のように表わす。

$$\begin{aligned} W &= V(q, y) + \sum_{i \in \mathbf{I}} \pi_i \\ &= u(x_1, x_2) + \Omega - q_1 \cdot x_1 - q_2 \cdot x_2 - T_1 - T_2 \\ &\quad + p_1 x_1 - c_1 + T_1 + p_2 x_2 - c_2 + T_2 \\ &= u(x_1, x_2) + \Omega - (p_1 + wt_1)x_1 - (p_2 + wt_2)x_2 \\ &\quad + p_1 x_1 - c_1 + p_2 x_2 - c_2 \\ &= u(x_1, x_2) + \Omega - wt_1 x_1 - wt_2 x_2 - c_1 - c_2 \end{aligned} \quad (25)$$

### (6) 均衡一般化価格

料金がある種の形成原理に従って内生化されており、また、所要時間も混雑を反映して内生化されているため、一般化価格  $q_1, q_2$  は均衡解として定義される。具体的には次の(26.a)のような不動点問題の解関数として定義される。

$$q_i = p_i(x_i(q_i, q_j), t_i(x_i(q_i, q_j), \alpha_i)) + wt(x_i(q_i, q_j), \alpha_i) \quad \text{for all } i \in \mathbf{I} \quad (26.a)$$

この解  $q^*$  をとして表せば、それは時間価値  $w$  とサービスの性能(容量)  $\alpha_1, \alpha_2$  の関数として次のように表せる。

$$q^* = [q_1^*, q_2^*] = [q_1^*(\alpha_1, \alpha_2, w), q_2^*(\alpha_1, \alpha_2, w)] \quad (26.b)$$

## 4.3 社会的総便益の基本定義

社会的純便益は社会的総余剰の変化分として次のように定義される。

$$\begin{aligned} \Delta W &= \int_{\alpha_2^a}^{\alpha_2^b} \left( \frac{\partial W}{\partial \alpha_2} \right) d\alpha_2 \\ &= \int_{\alpha_2^a}^{\alpha_2^b} \left\{ \left( p_1 - x_1 w \cdot \frac{\partial t_1}{\partial x_1} - \frac{\partial c_1}{\partial x_1} \right) \cdot Y_1 + \left( p_2 - x_2 w \cdot \frac{\partial t_2}{\partial x_2} - \frac{\partial c_2}{\partial x_2} \right) \cdot Y_2 - x_2 w \frac{\partial t_2}{\partial \alpha_2} - \frac{\partial c_2}{\partial \alpha_2} \right\} d\alpha_2 \end{aligned} \quad (27.a)$$

ただし、

$$Y_1 = \frac{\partial x_1}{\partial q_1} \frac{\partial q_1^*}{\partial \alpha_2} + \frac{\partial x_1}{\partial q_2} \frac{\partial q_2^*}{\partial \alpha_2} \quad (27.b)$$

$$Y_2 = \frac{\partial x_2}{\partial q_1} \frac{\partial q_1^*}{\partial \alpha_2} + \frac{\partial x_2}{\partial q_2} \frac{\partial q_2^*}{\partial \alpha_2} \quad (27.c)$$

また、効用最大化の1階条件である以下の条件を用いている。

$$\frac{\partial u}{\partial x_1} = q_1 \quad (28.a)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x_2} = q_2 \quad (28.b)$$

積分内に現れる各項は既に説明されているものを除いて次の意味をもつ。

$-x_1 w \cdot \frac{\partial t_1}{\partial x_1}$  は混雑による所要時間変化がもたらす限界的厚生変化である。 $-\frac{\partial c_1}{\partial x_1}$  はサービス供給量の変化に伴う限界費用である。 $-x_2 w \frac{\partial t_2}{\partial \alpha_2}$  はサービス2の性能改善(容量拡大)による所要時間の直接的な変化に伴う限界的な利用者余剰の増加である。そして、 $-\frac{\partial c_2}{\partial \alpha_2}$  はサービス2の性能向上に伴う供給者の限界的な費用節約である。

#### (1) 主体別便益

利用者の便益と供給者の便益はそれぞれ以下の通りになる。

$$dV = -x_1 dq_1^* - x_2 dq_2^* - dT_1 - dT_2 \quad (29.a)$$

$$d\pi_i = p_i^* dx_i + x_i dp_i^* - dc_i + dT_i \quad \text{for all } i \in \mathbf{I} \quad (29.b)$$

主体別便益を以下の関係を用いて合計して積分すれば(27)に示した社会総便益の定義に一致する。

$$dt_i^* = \left( \frac{\partial t_i^*}{\partial x_i} Y_i + \frac{\partial t_i^*}{\partial \alpha_i} \right) d\alpha_i, \quad dc_i = \left( \frac{\partial c_i}{\partial x_i} Y_i + \frac{\partial c_i}{\partial \alpha_i} \right) d\alpha_i \quad \text{for all } i \in \mathbf{I} \quad (29.c)$$

(29.a)はRoy's Identity(Varian(1992)等を参照)により導出される。また(29.c)は均衡解に対応した所要時間とサービス供給量の限界的な変化量を意味し、利用量の変化が引き起こされたことによる変化と性能改善による直接的な変化の両方を含んでいる。

### 4.4 各料金形成原理に応じた整備便益の考察

#### (1) 供給費用についての平均費用料金の場合

サービス供給者の独立採算原則により料金が供給費用についての平均費用に一致するように設定されている場合を考える。この場合は、料金は次のような関数で与えられることになる。

$$p_i = \frac{c(x_i, \alpha_i)}{x_i} \quad \text{for all } i \in \mathbf{I} \quad (30.a)$$

この場合の社会的純便益は(27.a)に代入して次のようになる。

$$\begin{aligned} \Delta W &= \int_{\alpha_i^0}^{\alpha_i^1} \left\{ \left( \frac{c_1}{x_1} - x_1 w \cdot \frac{\partial t_1}{\partial x_1} - \frac{\partial c_1}{\partial x_1} \right) \cdot Y_1 + \left( \frac{c_2}{x_2} - x_2 w \cdot \frac{\partial t_2}{\partial x_2} - \frac{\partial c_2}{\partial x_2} \right) \cdot Y_2 - x_2 w \frac{\partial t_2}{\partial \alpha_2} - \frac{\partial c_2}{\partial \alpha_2} \right\} d\alpha_2 \\ &\quad (30.b) \end{aligned}$$

この場合には、積分内の( )に示されているように、平均費用に設定された料金が限界費用と乖離することによる厚生損失の変化の便益(または不便益)が生じている。これらは、整備が行われない場合に次善の状況として発生していた厚生損失の変化分であり、料金設定が不適切に変更されてしまうと損失を軽減する場合だけでなく、かえって損失を増大させる可能性も含んでいる。従来から直接効果として計測されているのは( )内に含まれていない $-x_2 w \frac{\partial t_2}{\partial \alpha_2}$ と $-\frac{\partial c_2}{\partial \alpha_2}$ の項、すなわち、サービス2のパフォーマンス改善による所用時間の直接的な変化に伴う限界的な利用者余剰の増加とサービスの性能改善による供給者の限界的な費用節約である。

このように、料金設定が適切に行われていない場合には、料金がサービス供給費用の平均費用に設定されていることと混雑が生じていることの両方に起因した厚生損失の変化分についても計測して、それを社会的純便益を構成する項目として加えなければならない。

#### (2) 供給費用についての限界費用料金の場合

料金がサービス供給者の限界費用に一致している場合を考える。この場合は料金は次の関数で表わされる。

$$p_i = \frac{\partial c(x_i, \alpha_i)}{\partial \alpha_i} \quad \text{for all } i \in \mathbf{I} \quad (31.a)$$

社会的総便益は同様に(27.a)に代入して、

$$\begin{aligned} \Delta W &= \int_{\alpha_i^0}^{\alpha_i^1} \left\{ \left( -x_1 w \cdot \frac{\partial t_1}{\partial x_1} \right) \cdot Y_1 + \left( -x_2 w \cdot \frac{\partial t_2}{\partial x_2} \right) \cdot Y_2 - x_2 w \frac{\partial t_2}{\partial \alpha_2} - \frac{\partial c_2}{\partial \alpha_2} \right\} d\alpha_2 \\ &\quad (31.b) \end{aligned}$$

この場合には、積分内の( )には混雑に伴う所要時間変化に起因した利用者余剰の変化分だけが残っている。一般に、整備されるサービスについては、混雑が生じないほどに十分な容量が設定されるとすれば、サービス2についてのこの項は無視できる。

このような場合でも、所要時間の変化に伴う便益は需要 $x_i$ に関する情報を用いて消費者余剰の変化として計測される。それには、混雑緩和が所要時間の変化として含まれている。従って、この場合には混雑緩和の便益を社会的純便益を構成する項目として加える必要がある。

#### (3) 外部不経済費用と供給費用の両方の限界費用料金の場合

最後に、料金がいわゆる混雑料金として外部不経済費用の限界変化分も含めた最善の料金に設定されている場合を考える。料金は次の関数で表される。

$$p_i = \frac{\partial c(x_i, \alpha_i)}{\partial \alpha_i} + x_i w \frac{\partial c(x_i, \alpha_i)}{\partial x_i} \quad \text{for all } i \in \mathbf{I} \quad (32.a)$$

この時の社会的便益は他の場合と同様にして以下のように求められる。

$$\Delta W = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \left( -x_2 w \frac{\partial c_1}{\partial \alpha_2} - \frac{\partial c_2}{\partial \alpha_2} \right) d\alpha_2 \quad (32.b)$$

この場合には、サービス供給の限界費用と外部不経済に対する限界費用も料金として利用者が負担することになるため、整備無しの場合でも厚生損失は生じていない。従って(32.b)には従来から計測されてきた性能改善による直接的な利用者余剰の増加分と供給者の費用節約分の項だけが残る。従って、この場合には、従来と同様に直接的な便益の計測を行えばよい。

#### 4.5 混雑緩和便益を含める場合の留意点

土木学会関連の文献(例えば、森杉(1989)など)においては、整備されるサービスと代替的な関係にあるサービスの方で混雑が発生しているような状況では、整備されるサービスについての利用者余剰の増加分に加えて、代替的なサービスでの混雑緩和による消費者余剰の増加分も加えるべきとしている。本稿で示した社会的総便益は主体別便益の総和からも導出されるものであり、さらに、利用者の便益は、サービス別の利用者余剰の変化分に分解されている。従って、代替的なサービスについての消費者余剰の変化分を計測することの必要性は本稿で示した計測法と整合するものである。利用者便益についてはこの方式で計測し、サービス供給者の便益については料金形成原理の相違に注意深く配慮しながら別途計測すれば、それらの積み上げにより計測される社会的総便益は本稿で示したのと同じになる。

城所論文が混雑緩和便益を計測して社会的純便益を構成する項目の一つに含めることを誤りとして指摘したことの一因は、鉄道マニュアルにおいてどのような料金形成原理を想定しているのかが明示されていなかったことに起因すると思われる。しかし、鉄道マニュアルでの混雑緩和便益は、混雑による不効用を所要時間の増加による効用の低下と同様に扱っている。その範囲では、混雑も含めてサービス水準の変化として取り扱い、利用者便益の一部として計測することには問題ないと思われる。

整備無においても混雑が生じている場合には、金本(1996)および城所論文が主張しているように、整備による直接的な時間短縮便益と供給費用の節約分に加えて、混雑がもたらしている厚生損失の変化分を計測して加えるべきであるという主張は本稿のモデルからも支持される。前節(1)と(2)はまさにそのような場合を表している。従って、その主張は一般的に妥当性を持つと言える。しかし、社会的純便益を分解して利用者側と供給者側でそれぞれ正確に計測して積み上げて計算する場合には、混雑緩和によるサービス水準の向上を利用者便益の中に含めて計算することは妥当である。前節(3)のように、

サービスの供給費用と外部不経済費用の両方についての限界費用となっていれば、厚生損失は生じていないため、混雑緩和の便益を考慮する必要はない。しかし、現行の鉄道料金がこのような原理に拠っているとは言えず、鉄道マニュアルでも筆者らの見る限りでは料金が最善に設定されていることを想定しているとは思われない。従って、鉄道マニュアルは(27.a)に従って混雑緩和便益も含めて、利用者便益と供給者便益を個別に計測して社会的純便益を計測しようというアプローチであると解釈できる。

## 5 おわりに

本稿では、城所論文の公表を動機として、交通整備事業の便益計測についていくつかの重要な留意事項について吟味した。特に、城所論文が誤りとしている鉄道マニュアルでの便益計測法については、城所論文とは相反する結論を得た。しかし、このことは城所論文が問題提起を行ったこと自体の意義、そして、城所論文に示されているコンパクトなモデルによる理論展開の価値を減じるものではない。経済理論の専門家が実務で使用されている指針に対して関心を持ち、それを吟味するという営為はこれからも必要であり、是非とも継続することが望まれる。

本稿の結論と城所論文の見解が異なったことの大きな一因は、鉄道マニュアルにおいて経済理論から見た背景が必ずしも十分には記述されておらず、また、マニュアルが想定している状況についても一意的に解釈できない部分が含まれていたことであるといえる。各種の指針は、その目的と性格から、全てを詳述するよりも計算上最低限必要なことを記載することに多大な注意が払われがちである。そして、"できるだけわかりやすく"、"なるべく簡便に"、という方針のもとに作成されがちである。このような指針の特徴から見ても、今回の城所論文の公表は指針のあり方に対しても重要な注意を促しているように思われる。指針を作成するにあたっては、その時点で得られている理論的な知見については最大限の検討を行い、それらを記録として公開するべきである。指針自体には簡潔さを要求されるのであれば、指針とは別の解説資料としてでも、理論的な検討過程を記録して、それを刊行するべきである。それが第一に指針を使用する実務担当者にとって自らの計算の根拠に責任を負う立場から必要であり、第二に、作成者とは別の外部の専門家が関心を持って厳しく指針を吟味する際に不可欠である。そして、ひいては、指針の正当性を社会に是認してもらうためにも不可欠な資料となり得ると言える。

以上の点から、今回の城所論文の意義については改めて評価したい。そして、このような議論が今後も公開の場で展開されることを期待したい。

謝辞：運輸政策研究機構(1999)として刊行された鉄道マニュアルの作成過程において、筆者3名の内、上田と森杉は全くそれには関与していない。一方、林山は委員の一人として参加した経緯がある。しかし、本稿は、当該マニュアルを作成した委員会とは独立に著者らが学術的な関心から議論をはじめたことが動機となっている。従って、本稿は委員会の見解とは全く独立であり、本稿に関する責は筆者らのみが負っている。

本稿に関しては匿名の査読員および編集委員会から貴重な指摘やご示唆を頂いた。ここに記して感謝する次第である。

#### 参考文献

- 1) 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, No.15, Vol.4, No.4, 2002, pp.2-10
- 2) 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, 運輸省鉄道局監修・運輸政策研究機構発行

- 3) 上田孝行, 森杉壽芳(1997.a), 社会基盤施設の新規整備便益の定義と計測に関する一提案, 1997年度土木学会中部支部発表会講演集, 土木学会, 1997
- 4) 上田孝行, 森杉壽芳(1997.b), Second Best下での社会資本整備便益の計測について, 1997年度土木学会年次学術講演会第4部講演集, 土木学会, 1997
- 5) Le, D.H., Morisugi, H., and Ohno, E. (1992); A Benefit Measurement Model of the Newly Introduced Transport Facility, 土木学会第47回年次学術講演会講演集第 部門, 土木学会, pp.110-111, 1992
- 6) Varian, H.(1992); Microeconomic Analysis(3rd eds.), W. W. Norton & Company
- 7) 宇沢弘文(1989), 経済解析 - 基礎編 -, 岩波書店
- 8) 森杉壽芳(1984), 交通プロジェクトの便益の定義について, 地域学研究第14巻, pp.31-46
- 9) 土木計画学研究委員会(1998), 交通ネットワークの均衡分析, 土木学会
- 10) Pudney, S. (1989), Modeling Individual Choice, Blackwell, 1989
- 11) 上田孝行・福本潤也(2001), 観測・被観測関係と行動モデル, 土木学会論文集, No.688/TV-53, 2001
- 12) Sasaki, K.(1982), Travel Demand and the Evaluation of Transportation System Change: a Reconsideration of the Random Utility Approach, Environment and Planning A, Vol.14, 169-182, 1982
- 13) 宮城俊彦・小川俊幸(1985); 共役性理論基礎とした交通配分モデルについて, 土木計画学研究・講演集 No.7, 土木学会, pp.301-308, 1985
- 14) Williams, H.C.W.L.(1977), On the formation of Travel Demand Models and Economic Evaluation Measures of User's Benefit, Environment and Planning A, Vol.9, pp.285-344
- 15) 金本良嗣(1996), 交通投資の便益評価 - 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, 1996,
- 16) 森杉壽芳(1989), 経済評価, 土木工学ハンドブック第4版第53編「プロジェクト評価」, 土木学会, 1989

(原稿受付 2002年3月11日)

---

## Some Remarks on Measuring Benefit of Transport Projects

By Takayuki UEDA, Hisayoshi MORISUGI and Yasuhisa HAYASHIYAMA

In cost benefit analysis of a transport project, user's benefit is usually measured at the level of OD transport demand, while the demand can be estimated at mode or path level. Reduction of congestion is also usually included in the user's benefit. In contrast, Kidokoro(2002) pointed out that to these ways for measuring, which are adopted in the official manual for the CBA of rail projects (Organization for Transport Policy Study (1999)), are theoretically wrong. In this paper we first re-examine these ways for measuring benefit so that they should be deeply related to benefit of newly opened service and to pricing scheme. We then conclude that these ways in the manual are still correct.

---

*Key Words* : **Cost Benefit Analysis, User's Benefit, Newly Developed Infra., Reduction of Congestion, Pricing Scheme**

---