

# 道路投資における費用便益分析のための交通需要予測の方法\*

## —実務における予測作業の実施可能性を踏まえて—

*The Forecasting Method of Travel Demand for the Cost Benefit Analysis in Road Investment*

— Based on Feasibility of the Forecasting in the Practice —

桐越 信\*\* 毛利 雄一\*\*\*

By Shin KIRIKOSHI and Yuichi MOHRI

### 1. はじめに

#### (1) 本稿の背景と目的

今日、各種の公共事業の実施において、費用便益分析による事業評価が一般的に行われている。道路事業においても費用便益分析の実施のため、その手続きと具体的な分析方法が順次検討され、平成15年には「費用便益分析マニュアル」が国土交通省道路局企画課長、都市・地域整備局街路課長から各事業者に通達されたところである。

このような状況のもと、「費用便益分析マニュアル」に対して、主として経済学の研究者からすでにいくつかの問題点について重要な指摘がされている。本稿では、それらの指摘事項のうち、とくに経済理論との整合性の観点から指摘されている事項について、実務上必要不可欠な予測作業の実施可能性の観点からの検討も踏まえ、それらの指摘に対する対応の方向性を示すことを目的としている。

#### (2) 本稿の概要

本稿は全体が5章より構成されている。第1章では、本稿の背景・目的と概要を示す。第2章では、現在実施されている道路事業における費用便益分析の具体的方法に対して、これまでに経済学の研究者から指摘された重要な問題点について整理するとともに、その理論的な基礎について確認する。本稿において、採り上げるのは「金本・蓮池・藤原論文」と「城所論文」である。「金本・蓮池・藤原論文」と「城所論文」はともに、標準的ミクロ経済理論に基づき、道路事業における費用便益分析の具体的方法に対して本質的で重要な問題点を指摘している。両論文は、標準的ミクロ経済理論に基づいて費用便益

分析を実施する場合に交通需要予測の方法そのものが具備すべき要件について指摘しているとも解釈できる。第3章では、この要件について整理する。

幹線道路整備のための交通需要予測の一般的な方法として現在確立している4段階推計法（あるいは、3段階推計法）は、検討対象となっている幹線道路の車線数や構造規格等を定めるために、もともと将来交通量をできるだけ高い精度で予測することを主たる目的として開発されてきた方法である。そのために、アドホックな仮定や一部に大胆な簡略化もなされ、論理整合性に欠ける部分を有していることも事実である。また、4段階推計法をもとにして考えると、予測交通量をもとに算出される費用便益分析のアウトプットである純便益（ $B - C$ ）や費用便益比（ $B/C$ ）は、同じく予測交通量をもとに算出される車線数や構造規格などの他の数多くあるアウトプットのひとつ（one of them）として捉えられる傾向がある。

一方、費用便益分析は、体系的でかつ論理整合的な経済理論（この場合、標準的ミクロ経済理論）をその基礎として有しているものであり、できるだけ正確な（標準的ミクロ経済理論に整合的な）費用便益分析を実施しようとするなら、費用便益分析における便益の計測に必要な不可欠な予測交通量そのものの算出プロセス（すなわち交通需要予測の方法）自体に対しても費用便益分析が有している標準的ミクロ経済理論に基づく論理整合性と同様の論理整合性を当然要求するということになる。費用便益分析との関連において交通需要予測の方法に対して重要な問題点が指摘される理由はまさにこの点にある。換言すれば、主として簡単なマクロ計量モデルから構成される4段階推計法による交通需要予測の方法に

\*本稿は、『高速道路と自動車』2007年5月号所収の桐越・毛利・安部・青木（2007）を大幅に加筆修正したものである。

\*\*国土交通省中国地方整備局副局長 \*\*\*道路・経済研究部長

対して、費用便益分析の観点からいわゆるマイクロ経済学的基礎付けを要求しているということもできる。その意味で上記の両論文の指摘は極めて本質的で重要な指摘であるといえることができる。

第4章では、第3章で整理した、標準的マイクロ経済理論を基礎とした場合の交通需要予測の方法が具備すべき要件に照らして、現在実務で費用便益分析を実施するにあたって一般的に採用されている方法(4段階推計法)が有する問題点について整理するとともに、問題点解消のためにこれまでになされてきた取り組みについて記述する。

第5章では、費用便益分析のための交通需要予測の方法について、標準的マイクロ経済理論との整合性だけでなく、実務において必要不可欠な推計・予測作業の実施可能性の観点からも評価し、今後実務において取り組むべきその方向性を示す。

第6章では、全体のまとめと結論を述べる。

## 2. 経済学の研究者からの指摘内容と標準的アプローチ

本稿において採り上げる論文は、金本・蓮池・藤原(2006)と城所(2005)である。

### (1) 金本・蓮池・藤原(2006)の指摘内容

金本・蓮池・藤原(2006)が「費用便益分析マニュアル」に対して具体的に問題点として指摘している内容を引用すると次のとおりである。

- ① 「OD間の交通需要が一定であり、競合するルート間の交通需要が完全に代替的なケースでは、社会的便益を総交通費用の減少だけで評価できる。しかし、代替性が不完全な場合には、OD間の交通需要が一定であっても、社会的便益の変化は無視できない。」(p.52)
- ② 「アメリカの1960年のマニュアルや日本の国土交通省のマニュアルのように、総交通費用の変化で便益を計算する「総交通費用アプローチ」は完全代替のケースは正しい答えを与えるが、代替性が不完全な場合にはバイアスが発生する。」(p.80)

金本・蓮池・藤原(2006)の具体的な指摘は、便益計測の方法として「費用便益分析マニュアル」が採用している「総交通費用アプローチ」は、OD間の需要が固定的でかつ競合するルート(経路)間に完全代替が成り立つ場合にはバイアスを発生させな

いが、OD間の需要が変動的、あるいは競合するルート間において完全代替が成立しないような場合にはバイアスを発生させるというものである。

さらに、金本・蓮池・藤原(2006)では、実務において一般的に採用されている交通需要予測の方法は、とくにその予測の手順(発生・集中→分布→分担→配分)が標準的マイクロ経済理論を基礎とする費用便益分析とは整合的でないとしている、というのが筆者の理解である。金本・蓮池・藤原(2006)の「付録1」の詳述からも分かるように、標準的マイクロ経済理論に基づく費用便益分析における便益の計測と理論整合的な交通需要の予測の手順は、現在実務で一般的に採用されているような発生・集中→分布→分担→配分という「上から下へ」ではなく、「下から上へ」(計算手順としては「下から上へ」であるが、より上位の交通量は順次積み上げることで一意に算出されるので理論的にはより上位の交通量も同時に算出されることとなる)であるというのが金本・蓮池・藤原(2006)の見解であると解釈できる。この予測の手順についての問題は、前記の引用部分における具体的な指摘事項にある「OD間の交通需要が一定」とも直接的に関係するものである。

### (2) 城所(2005)の指摘内容

金本・蓮池・藤原(2006)と同様の指摘が城所(2005)においてもなされているが、より本質的で重要な指摘がその目的に明確に示されているので、それを引用すると次のとおりである。

「本稿で行うのは、標準的マイ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、マイクロ経済学の行動モデルとマニュアル類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、本稿は標準的なマイ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。」(2005, p.121)

城所(2005)では、上記に引用した目的のもと、標準的マイクロ経済理論を適用して経路交通のレベルでの定式化によって便益の計測と交通量の算出を同時に行っている。より上位の交通量(リンク、分担、分布、発生・集中)は、便益の計測と同時に算出される経路交通量を順次積み上げることによって求め

られることになる。実務における一般的な交通需要予測プロセスの最も下位に位置する経路交通のレベルでの定式化により便益の計測を経路交通量の算出と同時にすることは、需要者の効用最大化と供給者の利潤最大化を枠組みとする標準的ミクロ経済理論に従えば至極当然のことである。引用した上記の目的に照らすと、実務における費用便益分析のための交通需要予測の方法に対する城所 (2005) の最も本質的で重要な指摘はこの点にある。

### (3) 標準的アプローチ

前述の両論文のように、道路投資に対する費用便益分析を標準的ミクロ経済理論に基づいて行う方法を本稿では標準的アプローチと呼ぶことにし、この標準的アプローチの理論的な基礎 (定式化とその展開) を確認する。

ここでは、ある特定の OD 間に路線 1 から路線  $n$  までの路線が存在し、このうち路線 1 のみを道路投資によって拡張し、その他の路線 2 から路線  $n$  までの路線については道路投資を行わないとする場合を考える。この場合、需要者が需要しようとする道路投資によって拡張される路線 1 の交通量  $x_1$  及びその他の路線 2 から路線  $n$  の交通量  $x_2, \dots, x_n$  は、式 (2) の予算制約条件下で式 (1) の効用関数 (準線形効用関数) を最大化することによって求められる。式 (1) のは、交通量以外の財・サービスをひとつにまとめたニューメレル財の量を示している。

$$U(Z, x_1, x_2, \dots, x_n) = Z + \nu(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

$$I = Z + \sum_{i=1}^n P_i x_i \quad (2)$$

式 (1)、(2) にラグランジュ未定乗数法を適用すると、式 (4)~(7) のようになる。

$$L = Z + \nu(x_1, x_2, \dots, x_n) + \lambda(I - Z - \sum_{i=1}^n P_i x_i) \quad (3)$$

$$\frac{\partial L}{\partial Z} = 1 - \lambda = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = \frac{\partial \nu(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1} - \lambda P_1 = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = \frac{\partial \nu(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} - \lambda P_i = 0 \quad (6)$$

$$(i = 2, \dots, n) \quad (1 \text{ 階条件})$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = I - Z - \sum_{i=1}^n P_i x_i = 0 \quad (7)$$

式 (4)、(5)、(6) より、式 (8)、(9) が得られる。

$$\frac{\partial \nu(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1} = P_1 \quad (8)$$

$$\frac{\partial \nu(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} = P_i \quad (i = 2, \dots, n) \quad (9)$$

式 (8)、(9) は逆部分均衡需要関数を表わしており、式 (8)、(9) を  $x_1, x_i (i = 2, \dots, n)$  について解くと、式 (10)、(11) が得られる。式 (10)、(11) は部分均衡需要関数である。

$$x_1 = D_1(P_1, \dots, P_n) \quad (10)$$

$$x_i = D_i(P_1, \dots, P_n) \quad (i = 2, \dots, n) \quad (11)$$

ここで路線 2 から路線  $n$  の供給関数を  $P_i = P_i(x_i)$  とし、これを式 (12) とおき、この式 (12) に式 (11) を代入すると、式 (13) が得られる。

$$P_i = P_i(x_i) \quad (i = 2, \dots, n) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} P_i &= P_i(D_i(P_1, \dots, P_i, \dots, P_n)) \\ &\equiv P_i^*(P_{-i}) \quad (P_i \text{ が含まれないということ}) \\ &\quad (i = 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (13)$$

式 (13) では、未知数が  $P_1, \dots, P_n$  の  $n$  個で、制約条件が  $P_i = P_i^*(P_{-i})$  の  $(n-1)$  本であり、制約条件が 1 本足りないので、 $P_1, \dots, P_n$  は一意に決まらず式 (14) のように整理できる。

$$P_i = P_i^*(P_1) \quad (i = 2, \dots, n) \quad (14)$$

式 (14) を式 (10)、(11) に代入すると式 (15)、(16) が得られる。

$$x_1 = D_1(P_1, \dots, P_i^*(P_1), \dots, P_n^*(P_1)) \equiv d_1(P_1) \quad (15)$$

$$x_i = D_i(P_1, \dots, P_i^*(P_1), \dots, P_n^*(P_1)) \equiv d_i(P_1) \quad (i = 2, \dots, n) \quad (16)$$

式 (15)、(16) は路線 1 の交通量  $x_1$  及び路線 2 から路線  $n$  の交通量  $x_2, \dots, x_n$  を路線 1 の一般化価格  $P_1$  の関数として表わしたものであり、式 (15) の  $x_1 \equiv d_1(P_1)$  は、路線 1 の一般化価格  $P_1$  の変化が式 (14) に示す路線 2 から路線  $n$  の一般化価格  $P_i = P_i^*(P_1) (i = 2, \dots, n)$  を変化させ、それが  $x_1 - P_1$  平面上で路線 1 の部分均衡需要関数  $x_1 = D_1(P_1, \dots, P_n) = D_1(P_1, \dots, P_i^*(P_1), \dots, P_n^*(P_1))$  をシフトさせることを表わしており、一般均衡需要関数と呼ばれている。換言すれば式 (15) は道路投資による路線 1 の一般化価格  $P_1$  の変化が式 (14) で示す路線 2 から路線  $n$  の一般化価格  $P_i = P_i^*(P_1) (i = 2, \dots, n)$  を変化させ、それがはね返って路線 1 の部分均衡需要関数をシフトさせることにより路線 1 の一般化価格  $P_1$  を変化させるということである。路線 1 の一般均衡需要関数  $x_1 = d_1(P_1)$  の逆関数を  $P_1(x_1)$  とすると式 (17) が得られる。

$$P_i = d_i^{-1}(x_i) \equiv P_i(x_i) \quad (17)$$

路線 2 から路線  $n$  の一般化価格  $P_i (i = 2, \dots, n)$  を式 (14) のように  $P_i = P_i^{**}(P_1)$  として路線 1 の一般化価格  $P_1$  の関数として表現するのではなく、路線 1 の一般化価格  $P_1$  を路線 2 から路線  $n$  の一般化価格  $P_i$  の関数として式 (18) のように表現することもできる。

$$P_i = P_i^{**^{-1}}(P_i) \equiv P_i^{*}(P_i) \quad (i = 2, \dots, n) \quad (18)$$

この  $P_i = P_i^{*}(P_i)$  (式 (18)) と  $x_i \equiv d_i(P_i)$  (式 (16)) から路線 2 から路線  $n$  の一般均衡需要関数  $x_i \equiv \hat{d}_i(P_i)$  が式 (19) のように得られる。この  $x_i \equiv \hat{d}_i(P_i)$  は、式 (12) の  $P_i = P_i(x_i)$  とは相互に逆関数となっており、路線 2 から路線  $n$  では供給関数  $P_i = P_i(x_i)$  が一般均衡需要関数  $x_i \equiv \hat{d}_i(P_i)$  そのものであることが分かる。

$$x_i \equiv d_i(P_i) = d_i(P_i^{*}(P_i)) \equiv \hat{d}_i(P_i) \quad (i = 2, \dots, n) \quad (19)$$

以上の式 (10)~(19) をもとに部分均衡需要関数と一般均衡需要関数の関係を図-1 に整理する。

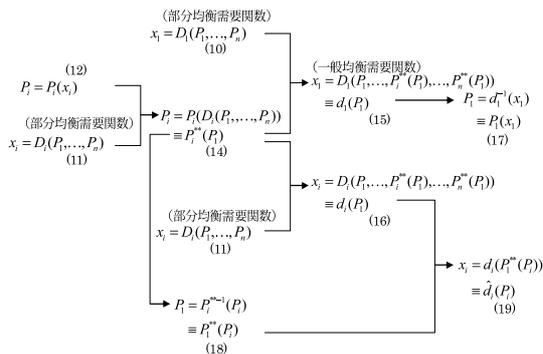


図-1 部分均衡需要関数と一般均衡需要関数の関係

便益 (=社会的余剰) の変化  $\Delta B$  は、価格に歪みのないファースト・ベストの場合には、消費者余剰の変化 ( $\Delta CS$ ) と生産者余剰 ( $\Delta PS$ ) の和であるので以下でそれぞれを求めることとする。式 (1)、(2) より式 (20) が得られるので  $\Delta CS$  は式 (21) のようになる。以下において、 $\Delta GCS$ 、 $\Delta PQ$ 、 $\Delta SC$  はそれぞれグロスの消費者余剰の変化分、支払額の変化分、社会的費用の変化分を示している。

$$U(Z, x_1, \dots, x_n) = v(x_1, \dots, x_n) - \sum_{i=1}^n P_i x_i + I \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \Delta CS &= \Delta U = U(Z^w, x_1^w, \dots, x_n^w) - U(Z^o, x_1^o, \dots, x_n^o) \\ &= v(x_1^w, \dots, x_n^w) - v(x_1^o, \dots, x_n^o) - \sum_{i=1}^n (P_i^w x_i^w - P_i^o x_i^o) \end{aligned} \quad (21)$$

$(\Delta GCS) \quad (\Delta PQ)$

式 (15)、(16) と式 (8)、(9) より式 (22)、(23)

が得られる。

$$v(x_1, \dots, x_n) = v(d_1(P_1), \dots, d_n(P_1)) \quad (22)$$

$$\frac{dv}{dP_1} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial v}{\partial x_i} \frac{dx_i}{dP_1} \quad (23)$$

$$= \sum_{i=1}^n P_i(x_i) \frac{dx_i}{dP_1}$$

したがって、消費者余剰 ( $\Delta CS$ ) は式 (24) のようになる。

$$\begin{aligned} \Delta CS &= v(x_1^w, \dots, x_n^w) - v(x_1^o, \dots, x_n^o) - \sum_{i=1}^n (P_i^w x_i^w - P_i^o x_i^o) \\ &= \int_{P_1^o}^{P_1^w} \sum_{i=1}^n P_i(x_i) \frac{dx_i}{dP_1} dP_1 - \sum_{i=1}^n (P_i^w x_i^w - P_i^o x_i^o) \\ &= \int_{P_1^o}^{P_1^w} P_1(x_1) dx_1 + \sum_{i=2}^n \int_{x_i^o}^{x_i^w} P_i(x_i) dx_i - \sum_{i=1}^n (P_i^w x_i^w - P_i^o x_i^o) \end{aligned} \quad (24)$$

一方、生産者余剰の変化は式 (25) のようになり、 $\Delta CS$  (式 (24)) と  $\Delta PS$  (式 (25)) を合わせた  $\Delta B$  は式 (26) のようになる。ここで、 $C_1^w(x_1)$ 、 $C_1^o(x_1)$  はそれぞれ路線 1 の with、without における供給関数である。

$$\begin{aligned} \Delta PS &= \Delta PQ - \Delta SC \\ &= \sum_{i=1}^n (P_i^w x_i^w - P_i^o x_i^o) - \left\{ \int_0^{x_1^w} C_1^w(x_1) dx_1 + \sum_{i=2}^n \int_0^{x_i^w} P_i(x_i) dx_i \right. \\ &\quad \left. - \int_0^{x_1^o} C_1^o(x_1) dx_1 - \sum_{i=2}^n \int_0^{x_i^o} P_i(x_i) dx_i \right\} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \Delta B &= \Delta CS - \Delta PS \\ &= \int_{P_1^o}^{P_1^w} P_1(x_1) dx_1 - \left\{ \int_0^{x_1^w} C_1^w(x_1) dx_1 - \int_0^{x_1^o} C_1^o(x_1) dx_1 \right\} \\ &\quad (\Delta GCS) \quad (\Delta SC) \\ &= \Delta B_1 \end{aligned} \quad (26)$$

式 (26) をみると、路線 1 の拡張による路線全体 (路線 1 から路線  $n$ ) での便益  $\Delta B (\sum_{i=1}^n \Delta B_i)$  は、結局路線 1 における便益 ( $\Delta B_1$ ) のみで算出されており、路線 2 から路線  $n$  は便益  $\Delta B$  の算出については何ら寄与していないことがわかる。これは、路線 1 の影響を受けて間接効果が発現する路線 2 から路線において価格に歪みのないファースト・ベストの状況を想定しているからである。

### 3. 標準的アプローチが交通需要予測の方法に要求する事項

前記の標準的アプローチが費用便益分析のための交通需要予測の方法に対して、必然的に要求することとなる基本的事項は、以下の 3 つに整理できる。

#### (1) 評価モデルと予測モデルの論理の同一性

標準的アプローチでは、経路交通のレベルで定式化することにより、便益の計測と経路交通量の算出

が同時に行われる。この便益の計測と経路交通量の算出が同時に行われるということは、単に算出手順の問題ではなく、評価のための便益計測の方法（すなわち評価モデル）と交通量を求める交通需要予測の方法（すなわち予測モデル）が経済理論的には同一の論理上に成立しているということである。

## (2)「下から上へ」の予測

前述のように、標準的アプローチによる便益計測のための交通需要の予測では、実務における一般的な交通需要予測プロセスの最も下位に位置する経路交通のレベルで定式化し、経路交通量を便益の計測と同時に算出することが理論整合的（予測モデルと評価モデルが同一の論理の上に成り立っているということ）となる。その当然の結果として経路交通より上位に位置するリンク、分担、分布、発生・集中の交通量は算出された経路交通量を順次積み上げて求めることとなる。その意味では費用便益分析において理論整合的に交通量を算出しようとするなら、「上から下へ」ではなく「下から上へ」にならざるを得ないということである。筆者は、これを費用便益分析のための交通需要予測の方法に対する金本・蓮池・藤原（2006）及び城所（2005）の理論上からの最も本質的で重要な指摘であると考えている。

経路間の完全代替の仮定に加えて、「総交通費用アプローチ」＝「消費者余剰アプローチ」の前提条件となる需要固定的なOD交通量も交通需要の予測の手順が「上から下へ」であるなら必然的にそうならざるを得ないものである。従って、この便益計測の問題は交通需要の予測の手順から派生する問題としてとらえることもできる。

また、標準的マイクロ経済理論と整合的に経路交通のレベルで経路交通量と同時に便益の計測がされていけば、それを積み上げることでどの交通のレベルでも便益の計測は可能で同じ値になるはずのものである。より上位の交通のレベルに関する情報だけで便益の計測を行おうとするならそれはそれより下位の交通需要の予測に対して特定の仮定の成立を要求することとなる。従って、どの交通のレベルで便益を計測するのかといういわゆる「便益の計測レベルの問題」も交通需要の予測の手順から派生する問題としてとらえることができる。

## (3) 需要変動型でかつ競合する経路間での完全代替を仮定しない予測

標準的アプローチでは、競合する経路間に完全代替が成立するとは仮定しておらず、また(2)の「下から上へ」の予測結果としてOD間の交通需要は必ずしも固定的とはならない。

## 4. 実務における一般的な交通需要予測方法の問題点とこれまでの取り組み

### (1) 実務における一般的な交通需要予測方法の問題点

実務における一般的な交通需要予測の方法である4段階推計法の問題点を費用便益分析の基礎となっている標準的マイクロ経済理論に基づく標準的アプローチに照らして整理すると以下の3つに大別できる。

#### a) 予測の手順と段階間の整合性

経済理論に基づく標準的アプローチでは、前述のように「下から上へ」向かって交通量を算出することになる。これは、「上から下へ」向かって交通量を予測する実務において一般的な4段階推計法とはそもそも交通量の予測の手順が逆になっていることを示している。このことの帰結として、「下から上へ」積み上げ集計を行うことになる標準的アプローチでは4段階推計法で一般に存在する段階間の不整合は存在しないことになる。例えば、4段階推計法では、分布交通量を求めるために必要となるゾーン間時間距離を想定される将来道路ネットワークをもとに事前に一次近似として算出するが、このゾーン間時間距離は経路交通量の算出後の経路毎のゾーン間時間距離をゾーン間で集計したものと一般には一致しない。これは、本来ネットワークフローの関数であり、経路交通量と同時に算出されるべきものであるゾーン間時間距離を4段階推計法では「上から下へ」という予測の手順の制約により経路交通量算出前に設定せざるを得ないことに起因している。

#### b) 各段階のモデルの理論的な根拠付け

標準的アプローチでは、交通量の算出が予算制約条件下での経路交通量の算出における効用最大化として定式化されているので、その意味ではその理論的根拠は、経路交通量はもちろんのこと、順次リンク、交通機関、ゾーン間、ゾーン毎に積み上げ集計することにより得られる配分、分担、分布、発生・集中の各段階の交通量の算出においても明確である。

一方、4段階推計法における各段階の交通量予測モデルは、配分交通量の予測を別にすれば、その理論的な根拠付けは必ずしも明確ではない。発生・集中、分布交通量の予測モデルは、基本的には、はじめからゾーンあるいはゾーン間レベルで集計されたその段階の交通量とその交通量と相関性がある社会経済変数とから構築される相関モデルであり、標準的のミクロ経済理論に基づく標準的アプローチが有しているような理論的根拠(ミクロ経済学的基礎付け)を欠いている。

実務における4段階推計法での発生・集中、分布、分担交通量の予測モデルが標準的のミクロ経済理論に基づく標準的アプローチに比べてその理論的根拠を欠いているのは、本来経路交通のレベルで定式化を行い、それを順次積み上げ集計することによって算出すべきより上位の交通量を、「上から下へ」という予測の手順の制約から経路交通量算出前に算出せざるを得ないことに起因している。したがって、この問題も予測の手順と直接的に関係している問題であることが分かる。

c) 配分交通量の予測における強い制約条件

4段階推計法による予測では、分布交通量の予測については需要固定型の予測であり、配分交通量の予測については完全代替の成立を前提としている。このことは、ゾーン間毎の経路交通量の予測では競合する経路間について需要が固定的でかつ完全代替が成立することを制約条件としていることを意味している。

2路線の場合を例に需要が固定的でかつ完全代替が成立する場合の便益の変化 $\Delta B$ を求めると以下のようなになる。式(1)、(2)によって定式化される2路線の場合(路線1を道路投資により拡幅し、路線2はそのままとする場合)の便益の差 $\Delta B$ は式

(27) のようになる。式(27)において、 $P_1(x_1)$ 、 $P_2(x_2)$ はそれぞれ路線1、路線2の逆一般均衡需要関数であり、 $C_1^w(x_1)$ 、 $C_1^o(x_1)$ はそれぞれ路線1のwith、withoutにおける供給関数である(図-2)。

$$\Delta B = \int_{x_1^w}^{x_1^o} P_1(x_1) dx_1 + \int_{x_2^w}^{x_2^o} P_2(x_2) dx_2 - \left\{ \int_{x_1^w}^{x_1^o} C_1^w(x_1) dx_1 - \int_{x_1^w}^{x_1^o} C_1^o(x_1) dx_1 \right\} \quad (\Delta GCS_1) \quad (\Delta GCS_2) \quad (\Delta SC_1) \quad (27)$$

$$- \left\{ \int_{x_2^w}^{x_2^o} P_2(x_2) dx_2 - \int_{x_2^w}^{x_2^o} P_2(x_2) dx_2 \right\} \quad (\Delta SC_2)$$

$x_1, x_2$  について需要が固定的でかつ完全代替が成立するという事は、式(28)、(29)が成り立つということである。この式(28)、(29)より式(30)、(31)が得られ、 $x_1 + x_2 = x$ より $x_2$ が $x_2^o$ から $x_2^w$ へ変化するとき $x_1$ は $x - x_2^o = x_1^o$ から $x - x_2^w = x_1^w$ へと変化するので、式(27)の右辺の第1項+第2項は式(32)のようになる。

$$x_1 + x_2 = x \quad (\text{需要固定型}) \quad (28)$$

$$P_1(x_1) = P_2(x_2) \quad (\text{完全代替}) \quad (29)$$

$$P_1(x_1) = P_2(x - x_1) \quad (30)$$

$$dx_2 = -dx_1 \quad (31)$$

$$\int_{x_1^w}^{x_1^o} P_1(x_1) dx_1 + \int_{x_2^w}^{x_2^o} P_2(x_2) dx_2 = \int_{x_1^w}^{x_1^o} P_1(x_1) dx_1 + \int_{x_2^w}^{x_2^o} P_2(x - x_1) dx_2 \quad (\Delta GCS_1) \quad (\Delta GCS_2)$$

$$\int_{x_1^w}^{x_1^o} P_1(x_1) dx_1 + \int_{x - x_2^o}^{x - x_2^w} P_1(x_1) (-dx_1) = \int_{x_1^w}^{x_1^o} [P_1(x_1) - P_1(x_1)] dx_1 = 0 \quad (32)$$

したがって、式(27)の $\Delta B$ は式(33)として得られる。

$$\Delta B = - \left\{ \int_{x_1^w}^{x_1^o} C_1^w(x_1) dx_1 - \int_{x_1^w}^{x_1^o} C_1^o(x_1) dx_1 \right\} - \int_{x_2^w}^{x_2^o} [P_2(x_2) dx_2] = -\Delta SC_1 - \Delta SC_2 = -(\Delta SC_1 + \Delta SC_2) = -\Delta SC \quad (33)$$

式(32)、(33)より分かることは、需要固定的でかつ完全代替が成り立つときにはグロスの消費者余剰の変化 $\Delta GCS$ は $\Delta GCS_1 = \Delta GCS_2$ よりゼロとなり、便益の変化 $\Delta B$ は社会的費用の変化 $-\Delta SC (= -\Delta SC_1 - \Delta SC_2)$ のみで算出されるということである。これは「費用便益分析マニュアル」における便益の算出方法そのものであり、標準的アプローチに追加的な条件( $P_1(x_1) = P_2(x_2) = P_2(x - x_1)$ )を付け加えることによって

$\Delta B = \Delta GCS - \Delta SC = -\Delta SC (\Delta GCS = 0)$ となるということである。その意味で消費者余剰アプローチを一般解、 $\Delta B = -\Delta SC (\Delta GCS = 0)$ とする「費用便益分析マニュアル」による方法(総交通費用アプローチ)を消費者余剰アプローチの特殊解と位置付けることもできる。

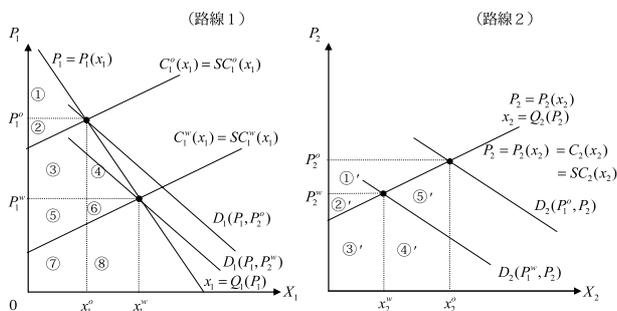


図-2 2路線(代替的)の場合の便益の変化(ΔB) (C(x) = SC(x))

## (2) 問題点解消のためのこれまでの取り組み

前項の a) ~c) の問題点は、経路交通量の算出を予算制約下 (式 (2)) において準線形であるということ以外に特別な条件を持たない効用関数 (式 (1)) の最大化として定式化し、それによって求められた経路交通量をリンク、交通機関、ゾーン間、ゾーン毎に積み上げて集計することにより当然解決可能である。なぜなら、これにより予測の手順に起因する段階間の不整合の問題も配分交通量の予測における強い制約条件の問題 (需要固定型で競合する経路間での完全代替の成立を前提としていること) もなくなり、さらに各段階の予測モデルの理論的根拠付け (ミクロ経済学的基礎付け) も明確となるからである。4段階推計法が持っている上記の問題点の解消への取り組みがこれまで全く行われて来なかったわけではなく、1970年代後半からの非集計ロジットモデルの導入により今日では少なくとも理論上は a) 及び b) の問題点はほぼ解消済である。

経路交通量の算出を非集計ロジットモデルを導入して定式化し、順次積み上げることによって上位の交通量を算出することにより予測の手順と段階間の整合性の問題は解消される。経路交通量算出における非集計ロジットモデルによる定式化は、式 (34) ~ (37) のようになる。選択確率  $P_{ijmr}$  とゾーン  $ij$  間の交通機関  $m$  の交通量 (ゾーン  $ij$  間における交通機関  $m$  の分担交通量)  $T_{ijm}$  からゾーン  $ij$  間の交通機関  $m$  の経路  $r$  の交通量  $T_{ijmr}$  が  $P_{ijmr} \cdot T_{ijm}$  (式 (37)) として表現される。同様の手続きでゾーン  $ij$  間の交通機関  $m$  を利用した場合の効用の確定項  $v_{ijmr}$  からゾーン  $ij$  間において交通機関  $m$  を選択する確率  $P_{ijm}$  が得られ、この選択確率  $P_{ijm}$  とゾーン  $ij$  間の交通量  $T_{ij}$  (ゾーン  $ij$  間の分布交通量) からゾーン  $ij$  間の交通機関  $m$  の交通量  $T_{ijm}$  は  $P_{ijm} \cdot T_{ij}$  となる。順次同じ手続きで、 $v_{ij}$ 、 $P_{ij}$  を求め、この  $P_{ij}$  と  $G_i$  (ゾーン  $i$  からの発生交通量) からゾーン間の交通量  $T_{ij}$  を  $P_{ij} \cdot G_i$  と表現し、さらに  $v_i$ 、 $v_i^0$  と (ゾーン  $i$  から交通行動を起こさない場合の効用の確定項) とから  $P_i$  を求め、この  $P_i$  と  $T_i$  (ゾーン  $i$  の人口) とからゾーン  $i$  からの発生交通量  $G_i$  は  $P_i \cdot T_i$  となる。

$$\begin{aligned} P_{ijmr} &= \mathbf{Prob} [U_{ijmr} > U_{ijmr'}] (r \neq r') \\ &= \mathbf{Prob} [v_{ijmr} + \varepsilon_{ijmr} > v_{ijmr'} + \varepsilon_{ijmr'}] (r \neq r') \end{aligned} \quad (34)$$

ここで、 $P_{ijmr}$  : ゾーン  $ij$  間の交通機関  $m$  において経路  $r$  を選択する確率

$v_{ijmr}$  : ゾーン  $ij$  間の交通機関  $m$  の経路  $r$  を利用する場合の効用の確定項

$\varepsilon_{ijmr}$  : ガンベル分布に従う効用の誤差項

$$f(\varepsilon) = \exp(-\varepsilon) \exp\{-\exp(-\varepsilon)\} \quad (\text{ガンベル分布の確率密度関数}) \quad (35)$$

$$P_{ijmr} = \frac{\exp(v_{ijmr})}{\sum_{r=1}^R \exp(v_{ijmr})} \quad (36)$$

$$T_{ijmr} = P_{ijmr} \cdot T_{ijm} \quad (37)$$

非集計ロジットモデルでは、ゾーン  $ij$  間の交通機関  $m$  の経路  $r$  を利用する場合の効用の確定項  $v_{ijmr}$  とゾーン  $i$  の人口  $T_i$  が与えられると積み上げにより  $T_{ijmr}$  (経路交通量)、 $T_{ijm}$  (分担交通量)、 $T_{ij}$  (分布交通量)、 $G_i$  (発生交通量) が同時に算出されることになる。このことから、非集計ロジットモデルによる定式化と積み上げでは、4段階推計法に存在する段階間の不整合は存在せず、また効用の誤差項  $\varepsilon_{ijmr}$  をその処理のしやすさからガンベル分布に従うと仮定し、選択確率  $P_{ijmr}$  がロジットモデルになるということを別にすれば  $T_{ijmr}$ 、 $T_{ijm}$ 、 $T_{ij}$ 、 $G_i$  算出の理論的な根拠付けも式 (34) による定式化により明確である。非集計ロジットモデルの導入により今日では少なくとも理論上は a) 及び b) の問題点は解消されていると前述した理由は以上のとおりである。前項の問題点のうち c) の配分交通量の予測における強い制約条件については、実務における一般的方法が需要固定と競合する経路間での完全代替を前提としていることに比べると非集計ロジットモデルによる定式化と一連の積み上げでは、ゾーン毎の人口がとりあえず外生的に与えられるという制約条件はあるものの需要固定と完全代替は前提とはされていないことが分かる。

## 5. 実務における費用便益分析のための交通需要予測の方法

実務における費用便益分析のための交通需要予測の方法を検討するにあたっては、その交通需要予測の方法が標準的ミクロ経済理論とどの程度整合性を有しているのかという観点と、実務において必ず要求される予測作業の実施可能性があるのかという観点の2つの観点からの検討が必要である。

## (1) 標準的ミクロ経済理論との整合性

①標準的アプローチ、②非集計ロジットモデルによる方法及び③実務における一般的な方法である4段階推計法と標準的ミクロ経済理論との整合性については以下のように整理できる。

2. (3) で記述した標準的アプローチは、標準的ミクロ経済理論をそのまま道路投資に適用したものである。4段階推計法は、4. (1) から明らかであるが、基本的にはミクロ経済学的基礎を持たない相関関係をベースとする簡単なマクロ計量モデルであり、標準的ミクロ経済理論とは整合的でない。

非集計ロジットモデルによる方法は、4. (2) で説明したとおり、標準的アプローチの制約条件（式(2)）に人口の制約条件（ゾーン毎の人口が外生的に与えられていること）を追加したうえで、式(1)に示す準線形の効用関数を一般型とするような特定の効用関数を最大化することと同じであることが城所（2003）、城所（2005）において詳しく整理されている。標準的アプローチの定式化において最大化する効用関数（式(1)）を特定化することにより、需要関数が扱い易いものになるということであり、換言すれば扱い易い需要関数を得るために、定式化において特定の効用関数を設定しているということでもある。したがって、非集計ロジットモデルによる方法は標準的アプローチの特殊ケースのひとつと位置付けることができる。同様のことは、需要関数を直線で近似し、いわゆる「台形公式」で便益を計測する場合にも言える。この場合には、直線となるような需要関数を得るために、式(1)の定式化において特定の効用関数を設定しているということである（Ottaviano et al（2002））。

## (2) 予測作業の実施可能性

実務における費用便益分析では交通需要の予測作業が必ず発生し、その実施可能性が必要不可欠となる。そこで、①4段階推計法、②標準的アプローチ及び③非集計ロジットモデルによる方法についてその予測作業の実施可能性について検討すると以下のようなことになる。

4段階推計法はもともと将来交通量をできるだけ高い精度で予測することを目的として開発されてきた方法でもあることから、予測作業の実施可能性を

一定程度備えている。標準的アプローチでは、需要関数が特定化されていないのでそのままでは予測作業への手がかりがつかめない。

非集計ロジットモデルによる方法は、ゾーン毎の人口が外生的に得られるならば、前述のように需要関数が扱い易い関数形になっているので予測作業の実施可能性は、一見あるように思える。ここで、4段階推計法の問題点を解決するために開発されてきた非集計ロジットモデルがこれまでの実務における交通需要の予測作業にどのような影響を与えたのかについてみることにする。誤解を恐れずに結論を述べるなら、幹線道路ネットワークの整備計画立案にあたっての交通需要予測においては、一部を除いてほとんど活用されなかったと言える。その主たる理由は、利用者が利用可能な経路をどのような確率で選択するのかを表わす式(36)に示すモデルを構築するためのパラメータの推定において、そのためのデータ収集が困難であるためにできないということである。式(34)、(35)に示す非集計ロジットモデルによる定式化は、「月がとっても青いから遠まわりして帰ろう」というようなことまでをそのモデルの中に組み入れることを要求しており、これは所要時間、料金、距離のような自動車交通における幹線道路ネットワーク上の経路選択において基本的かつ容易に収集可能なデータ以外のデータについても容易に収集できることを要求することと同じである。非集計ロジットモデルによる定式化が部分的に活用されたのは幹線道路ネットワークの経路交通量の予測（配分交通量の予測）においてではなく交通機関選択における分担交通量の予測である。これは、自動車交通における幹線道路ネットワーク上の経路選択に比べ、交通機関選択では所要時間、料金、距離などの基本的なデータに加え、交通機関の選択に影響を及ぼすと思われる乗り換え回数、疲労度等のデータについても収集が比較的容易であることによる。

非集計ロジットモデルによる定式化と積み上げは、主として簡単なマクロ計量モデルから構成され各モデルの理論的根拠付けが明確でない4段階推計法による交通需要予測の方法に対して、論理整合性の点からミクロ的経済的基礎付けを求めたものといえる。しかし、幹線道路ネットワークの整備計画の立案における交通需要予測の主たる目的が幹線道路の車線数や構造規格等を定めるための将来の交通量そのものの予測にあった以上、ミクロ的経済的基礎付けを

有する理論的により優れた方法であったとしてもモデル構築のためのデータの収集が容易でないとすればその方法が実務において十分活用されなかったとしてもやむを得ないことであった。これまでの実績から言えば、非集計ロジットモデルによる方法は交通機関分担においては予測作業の実施可能性を有しているが、幹線道路ネットワークの配分交通量においては予測作業の実施可能性は極めて低い状況にあると言える。換言すれば道路ネットワークの配分交通量の予測に対して確率的利用者均衡配分を適用することは極めて困難であるということでもある。

**(3) 実務において取り組むべき方向**

これまでの検討をもとに、交通需要予測の方法を、①その予測の手順が「下から上へ」か「上から下へ」か、②経路交通の予測において完全代替の成立を前提としているのか否かによって分類すると表-1のように整理できる。予測の手順が「上から下へ」であるか「下から上へ」であるかは、前節でも記述したように、①予測の段階間に整合性があるのか否か、②各段階のモデルに理論的根拠付けがあるのか否か、③OD交通量の予測が需要固定的か需要変動的か、さらには④便益の計測のレベルをどのレベルにするのかという問題にも直接関係する。

ここで、表-1と前節での検討を踏まえ、今後実務において取り組むべき方向として、2つの方法を提案する。ひとつは現段階でも対応可能な方法であ

り、もうひとつは今後その取り組みを目差すべき方法である。現段階でも対応可能な方法とは表-1の [I] の方法であり、今後その取り組みを目差すべき方法とは表-1の [III] に修正を加えた方法である。表-1の [I] の方法において、予測の手順が「上から下へ」であるということはOD交通量の予測が需要固定的であるということでもあるので、この方法はいわゆる「総交通費用アプローチ」そのものを意味し、標準的アプローチに照らすと特殊な状況下における方法ということになる。この方法は以前に金本(2004)の指摘に対して、筆者が桐越・安部・毛利(2005)において表-2に基づき、予測作業の実施可能性を踏まえると現段階では実務においては[A]の方法にならざるを得ないとした方法である。しかし、この方法では、道路ネットワークが一般道路ネットワークと有料道路ネットワークから構成されている場合に、道路ネットワーク全体をひとつのネットワークとして考え、料金を所要時間に換算し完全代替の成立を前提にWardropの第一原則に従って交通量を算出すると有料道路ネットワークにおける交通量の再現性が必ずしも良くないことが一般的に知られている。このことは、一般道路と有料道路との選択が実際には所要時間と料金だけで行われているわけではないことを示している。これに対して工夫を凝らす必要があり、本稿では以下の方法を提案する。それは、道路ネットワーク全体を構成する一般道路ネットワークと有料道路ネットワークをそれぞれ別の交通機関として捉え、転換率曲線によってははじめに有料道路ネットワークによって分担する交通を分離したうえで一般道路ネットワーク、有料道路ネットワークのそれぞれについて完全代替を前提としてWardropの第一原則を適用して、確定的利用者均衡配分法により配分交通量を求め、その際算出させる一般化費用を一般道路ネットワークと有料道路ネットワークの選択(すなわち有料道路ネットワークが分担する交通量の算出)にフィードバックさせ上記の手続きを繰り返すという方法である。この方法は転換率曲線とWardropの第一原則を組み合わせた方法であるが、一般道路ネットワークと有料道路ネットワークが分担する交通量が一般化費用の大小によってall or nothingにではなく、転換率曲線により一般化費用に応じた比率によって算出されるので、一般道路ネットワークと有料道路ネットワークの間では完全代替の成立を前提としな

表-1 交通需要予測の方法の分類 (1)

経路交通の 予測 予測の手順	完全代替の 成立を前提	完全代替の成立を 前提としない
「上から下へ」	[I] (4段階推計法)	[II]
「下から上へ」	[III]	[IV] 非集計ロジットモデル 標準的アプローチ

表-2 交通需要予測の方法の分類 (2)

経路交通の 予測 OD 交通量の 予測	完全代替の成立を前提 (Wardropの第一原則 の実現を予定)	完全代替の成立を 前提としない (Wardropの第一原則 の実現を予定しない)
需要固定型	[A]	[B]
需要変動型	[C]	[D]

い方法ということになる。この方法では、転換率曲線と配分交通量を同時に求めることとしているので、いわば転換率内生モデルであるが、分担・配分統合モデルと見ることもできる。

今後その取り組みを目差すべき表-1の〔Ⅲ〕に修正を加えた方法というのは、現段階でも対応可能な方法と同じように、まず一般道路ネットワークと有料道路ネットワークをそれぞれ別の交通機関と考え、この交通機関の選択を、前節での予測作業の実施可能性についての検討を踏まえて非集計ロジットモデルによって定式化し、より上位の分布、発生・集中の交通量については一般道路ネットワークと有料道路ネットワークが分担する交通量をそれぞれ積み上げて算出し、一方配分交通量については一般道路ネットワーク、有料道路ネットワークごとに完全代替の成立を前提に、Wardropの第一原則を適用して確定的利用者均衡配分法により求め、その際算出される一般化費用を一般道路ネットワークと有料道路ネットワークの選択にフィードバックさせて上記の手続きを繰り返すという方法である。この方法は、前節での検討から、非集計ロジットモデルの予測作業の実施可能性が配分交通量の算出においては困難であるとしても交通機関の選択（すなわち分担交通量の算出）においては可能であることを踏まえ、分担交通量より上位については「下から上へ」予測することとした方法である。この方法では、配分交通量の算出に完全代替の成立を前提としていることを別にすると、標準的アプローチが要求する段階間の整合性や各段階（除配分）のモデルの理論的根拠付けを有しており、OD交通量についても需要固定型とはなっていないことから標準的アプローチの要件を現段階でも対応可能な方法よりは備えている方法である。

本稿において、費用便益分析がその基礎とする標準的マイクロ経済理論との整合性及び予測作業の実施可能性を踏まえて、今後実務において取り組むべき方法として提案するのは以上2つの方法である注1)。

## 6. おわりに

本稿は、現在実施されている道路事業における費用便益分析のための交通需要予測の方法に対して、費用便益分析がその基礎とする標準的マイクロ経済理論との整合性の観点から、経済学の研究者からなさ

れた指摘について紹介するとともに、その指摘が実務において一般的な交通需要予測の方法に対して有する本質的で重要な意味について整理し、指摘に対して実務において今後どのように取り組むべきかについてその方向を提案した。標準的マイクロ経済理論を基礎とする費用便益分析が交通需要予測の方法に要求する事項は、①評価モデルと予測モデルの理論の同一性、②「下から上へ」の予測、③需要変動型でかつ完全代替を前提としない予測の3つに整理できるが、このうち最も本質的で重要であるのは、「下から上へ」の予測である。本稿では、指摘に対して今後実務においてどのように取り組むべきかを検討するにあたっては、標準的マイクロ経済理論との整合性だけでなく、実務において必要不可欠な予測作業の実施可能性の観点からの評価も必要であることを示し、予測作業の実施可能性を詳しく検討したうえで現段階でも対応可能な方法と今後その取り組みを目差すべき方法の2つの方法を提案した。

## 謝辞

本稿を書くにあたり、横沢香奈江さん（東京都建設局）から有益かつ貴重なご示唆、ご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

注1) これらの方法の実務への適用についての具体的な検討は、毛利・桐越・安部（2006）を参照のこと。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 金本良嗣・蓮池勝人・藤原徹：政策評価マイクロモデル，第2章消費者余剰アプローチによる政策評価，東洋経済新報社，2006
- 3) 城所幸弘：交通プロジェクトの便益評価－体系と課題－，運輸政策研究，Vol.6，No.2，pp.14～27，2003
- 4) 城所幸弘：交通投資の費用便益分析，フィナンシャル・レビュー，平成17年第3号（通巻第77号），pp.120～148，2005
- 5) 桐越信・安部勝也・毛利雄一：道路整備における便益計測方法と交通需要予測方法の関係－「消費者余剰アプローチ」の適用可能性－，高速道路と自動車，Vol.48，No.7，pp.24～36，2005

- 
- 6) 桐越信・毛利雄一：道路整備と費用負担に関する基礎的研究，第3章道路投資における費用便益分析と交通需要予測方法の関係―「金本論文」・「城所論文」を踏まえた対応―，道経研シリーズ，A-128，2006
  - 7) 桐越信・毛利雄一・安部勝也・青木優：道路投資における費用便益分析のための交通需要予測の方法―実務における予測作業の実施可能性を踏まえて―，高速道路と自動車，vol.50，No.5，pp.18～26，2007
  - 8) 桐越信・澤田和宏・毛利雄一：道路投資のやさしい費用便益分析―理論と適用―，第5回費用便益分析のための交通需要予測の方法，交通工学，vol.42，No.4，pp.109～122，2007
  - 9) 毛利雄一・桐越信・安部勝也：実務における消費者余剰アプローチの適用を目指した便益計画方法，土木計画学研究・論文集，vol.23，No.3，pp.667～674，2006
  - 10) Ottaviano, G., T. Tabuchi and J. -F. Thisse : Agglomeration and trade revisited, International Economic Review, vol.43, pp.409～436, 2002