

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—

平成19年1月

桐毛
安青

越利
部木

雄
勝

信一
也優

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—

桐越 信
毛利 雄一
安部 勝也
青木 優

1. はじめに

- (1) 本稿の背景と目的
- (2) 本稿の概要

2. 経済学の研究者からの指摘内容と標準的アプローチ

- (1) 「金本論文」の指摘内容
- (2) 「城所論文」の指摘内容
- (3) 標準的アプローチ

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

- (1) 評価モデルと予測モデルの論理の同一性
- (2) 「下から上へ」の予測
- (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

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
 - 1) 予測の手順と段階間の整合性
 - 2) 各段階のモデルの理論的な根拠付け
 - 3) 配分交通量の予測における強い制約条件
- (2) 問題点解消のためのこれまでの取り組み
 - 1) 非集計ロジットモデルの導入
 - 2) 非集計ロジットモデルによる方法の意義

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

- (1) 標準的ミクロ経済理論との整合性
- (2) 予測作業の実施可能性
- (3) 実務において今後取り組むべき方向

6. おわりに

謝辞

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—

桐越 信*
毛利 雄一**
安部 勝也***
青木 優****

1. はじめに

(1) 本稿の背景と目的

今日、道路事業をはじめとする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。これは、平成8年12月の行政改革委員会による「行政関与のあり方に関する基準」において、「行政が関与する場合には、それによって生じる社会的便益と社会的費用とを事前及び事後に総合的に評価し、その情報を積極的に公開する」こととされ、さらにその後、平成9年12月に当時の橋本総理大臣から、公共事業に対する費用便益分析の実施が指示されたことにその端を発している。

これを受け、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・準備され、平成10年6月には「費用便益分析マニュアル(案)」が建設省道路局企画課長、都市局街路課長から各事業者あてに通達され、さらにその改定が平成15年8月に「費用便益分析マニュアル」として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平成10年6月と同様に各事業者に通達されたところである。

したがって、現在、道路事業においては、一定の要件に該当する事業について、事業区間毎に、新規採択時に限らず、事業実施中において事業を引き続き継続すべきか否かを判断する際(再評価時)にも、さらには事業終了後において当該事業の効果を確認する際(事後評価時)にも、それぞれ必要とされる時期の評価のひとつの要素として費用便益分析の実施が義務付けられている。その意味で、費用便益分析の実施はその内容は別としても一応制度化されているといえる。

このような状況のもと、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な分析方法、すなわち平成15年8月に各事業者に通達された「費用便益分析マニュアル」そのものに対して、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

* 東京都建設局道路計画担当部長

** (財)計量計画研究所研究部次長

*** 内閣府政策統括官付参事官補佐

**** (財)日本総合研究所研究員

ついて重要な指摘がされているところである。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。

なお、本稿は筆者の以前の拙稿（「道路整備における便益計測の方法と交通需要予測の方法の関係－「消費者余剰アプローチ」の適用可能性－」、第48巻第7号、2005年7月）を深化発展させたものである。上記の論文は、現在実務で行われている道路事業の評価における便益の計測は、需要を固定しかつ競合する経路間での完全代替の成立を前提（「総交通費用アプローチ」）にしており、経済理論的に正しい方法（「消費者余剰アプローチ」）に比べるとバイアスを有する、という金本（2004）の指摘に対して、経済理論的には「消費者余剰アプローチ」が正しいとしても、実務上は現段階では準備できる交通量・価格・費用のデータの制約から便益の計測は「総交通費用アプローチ」にならざるを得ないとするものであった。しかし、筆者は現在、上記の論文では、金本（2004）の指摘を字句どおりにのみ捉えていて、その指摘が有する本質的で重要な内容については充分把握できていなかったと考えている。必ずしも明示的ではないが金本（2004）をはじめとする経済学の研究者からの指摘で筆者が最も本質的で重要であると考えているのは、標準的ミクロ経済理論に基づく費用便益分析が要求する交通需要の予測の手順は、現在実務で一般に行われている交通需要の予測の手順とは逆であるという指摘である。本稿は、このことを明確に認識したうえで、実務において今後どのような対応が可能であるのかについて、その方向性を提案するものである。

（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「金本論文」と「城所論文」である。「金本論文」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、ともに費用便益分析をできるだけ標準的ミクロ経済理論に基づいて正確に実施しようとするなら、そのための交通需要予測の方法そのものがその予測の手順も含めてどのような方法でなくてはならないのかということ指摘したものであるというのが筆者の理解である。その意味では、上記の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関する指摘であるということもできる。第3章では、この要件について整理する。

費用便益分析との関連でなぜ交通需要予測の方法が問題となるのかについて筆者の見解を以下に示す。幹線道路整備のための交通需要予測の一般的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決めるために、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。誤解を恐れずに換言すれば、現在確立している交通需要予測の方法は、論理的な整合性よりもできるだけ高い精度で将来交通量を予測すること、すなわち予測精度の向上を優先させて開発されてきた方法である。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というのが筆者の基本的な見解である。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対して、費用便益分析の観点からいわゆるミ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。したがって、その意味で上記の論文の指摘は極めて本質的で重要な指摘であるということができる。

第4章では、第3章で整理した標準的ミ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、費用便益分析を実施するにあたって現在実務におい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で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、標準的ミ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、「金本論文」と「城所論文」である。「金本論文」とは具体的には金本良嗣・蓮池勝人・藤原 徹(2006)の第2章「消費者余剰アプローチによる政策評価」（なお、この論文はすでに2004年8月にRIETI Discussion Paper Series 04-J-042 独立行政法人 経済産業研究所としてopenになっていたものである）

であり、「城所論文」とは城所幸弘（2003）と城所幸弘（2005）である。

（１）「金本論文」の指摘内容

「金本論文」が国土交通省道路局及び都市・地域整備局の「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「社会的便益は社会的総費用の減少分に社会的便益の増加分を加えたもので計測しなければならない。しかしながら、道路投資の費用便益分析マニュアルには総費用の減少分を用いて便益評価を行うとしているものが見られる。例えば、アメリカの1960年マニュアル（Red Book）では、便益を総交通費用の減少だけで計測している。その後、1977年のマニュアル（AASHTO, 1977）では、消費者余剰公式を使うことを推奨するようになったが、地点間の交通量が変化しない場合には、どちらの方法を用いても同じ結論が得られるという記述が見られる。日本の道路費用便益分析マニュアル（国土交通省道路局、都市・地域整備局、2003）でも、総交通費用の減少だけで便益を計測している。なお、アメリカの2003年マニュアル（AASHTO, 2003）では総交通費用だけを用いる方式は姿を消しており、消費者余剰公式を使う方式だけが紹介されている。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。」（pp. 52～53）

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。」（pp. 80～81）

上記の引用から明らかであるが、「金本論文」の「費用便益分析マニュアル」に対する具体的な指摘は、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間の需要が変動的であったり、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、問題点として具体的に指摘しているわけではないが、「金本論文」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）が標準的ミ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。「金本論文」の「付録1」の詳述からも分かるように、標準的ミ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

ることにより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「金本論文」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」 (=需要が固定的なOD交通量) とともに直接的に関係するものである。

(2) 「城所論文」の指摘内容

国土交通省道路局及び都市・地域整備局の「費用便益分析マニュアル」に対する「金本論文」と同様の指摘が城所幸弘(2005)においてもなされているが、「費用便益分析マニュアル」に対する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、それを城所幸弘(2003)と城所幸弘(2005)から以下に引用すると次のとおりである。

①「費用便益分析は、ミクロ経済学の実務的な応用という側面を持ち、これまでにすでに多くの教科書が書かれている。しかしながら、驚くべきことに、交通プロジェクトの便益評価を、ミクロ経済学と統合的な形で基礎から応用まで一貫して取り扱っている教科書は存在しない。このような状況は、交通プロジェクトの便益計測が費用便益分析の中の主要な部分を占めるということを鑑みると非常に残念なことである。日本のように最近費用便益分析が用いられるようになった場合は特にそうであり、ミクロ経済学を統合的に応用して便益評価を論じた基礎的文献の不足は、実際の便益評価に多大な混乱をもたらす恐れがある。したがって、本稿では、ミクロ経済学に基づく便益評価モデルを構築し、それと統合的な便益評価方法を導出することを目的とする。」(2003, p. 14)

②「本稿で行うのは、標準的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。」(2005, p. 121)

「城所論文」では、上記に引用した目的のもと、標準的ミ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行うことは、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「城所論文」の最も本質的で重要な指摘はこの点にあると筆者は考えている。交通需要の予測を実務において一般的な「上から下へ」向かってではなく、

反対に「下から上へ」向かって行うことは、「金本論文」においても暗黙に指摘されている、と前節で筆者が理解しているとした事項である。

(3) 標準的アプローチ

「金本論文」・「城所論文」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）を確認すると以下のとおりである。

ここでは、ある特定のOD間に路線1から路線 n までの n 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幅し、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は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幅される路線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 Z 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ール財の量を示している。

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

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

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。

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

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

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

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = \frac{\partial v(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} - \lambda P_i = 0 \quad (i = 2, \dots, n) \quad (6)$$

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

(1 階条件)

式(4)、(5)、(6)より、式(8)、(9)が得られる。

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

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

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。

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

$$\begin{aligned} P_i &= P_i(D_1(P_1, \dots, P_i, \dots, P_n)) \\ &\equiv P_i^*(P_1) \quad (P_i \text{が含まれないということ}) \quad (i=2, \dots, n) \end{aligned} \quad (13)$$

式(13)では、未知数が P_1, \dots, P_n の n 個で、制約条件が $P_i = P_i^*$ 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。また、

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

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

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。

$$P_1 = d_1^{-1}(x_1) \equiv P_1(x_1) \quad (17)$$

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。

$$P_i = P_i^{**^{-1}}(P_i) \equiv P_1^{**}(P_i) \quad (i=2, \dots, n) \quad (18)$$

この $P_i = P_1^{**}(P_i)$ (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。

$$x_i \equiv d_i(P_i) = d_i(P_1^{**}(P_i)) \equiv \hat{d}_i(P_i) \quad (i=2, \dots, n) \quad (19)$$

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整理すると図-1 のようになる。

便益 (=社会的余剰) の変化 ΔB 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 (ΔCS) と生産者余剰 (ΔPS) 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 ΔCS は式(21)のようになる。以下において、 ΔGCS 、 ΔPQ 、 ΔSC 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。

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

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

(ΔGCS) (ΔPQ)

式(15)、(16)と式(8)、(9)より式(22)、(23)が得られる。

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

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

したがって、消費者余剰 (ΔCS) は式(24)のようになる。

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

一方、生産者余剰の変化は式(25)のようになり、 ΔCS (式(24)) と ΔPS (式(25)) を合わせた ΔB 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。

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

$$\begin{aligned}
\Delta B &= \Delta CS + \Delta PS \\
&= \int_{x_1^o}^{x_1^w} P_1(x_1) dx_1 - \left\{ \int_0^{x_1^w} C_1^w(x_1) dx_1 - \int_0^{x_1^o} C_1^o(x_1) dx_1 \right\} \\
&\quad (\Delta GCS_1) \qquad (\Delta SC_1) \\
&= \Delta B_1
\end{aligned} \tag{26}$$

式(26)をみると、路線1の拡幅による路線全体(路線1から路線 n)での便益 ΔB ($= \sum_{i=1}^n \Delta B_i$) は、結局路線1における便益 (ΔB_1) のみで算出されており、路線2から路線 n は便益 ΔB 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 n 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を整理すると以下の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」(計算手順としては「下から上へ」であるが、前述のように、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)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「金本論文」及び「城所論文」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、標準的ミ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れば、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(例えば、「上から下へ」の予測において分布交通のレベルで便益を計測することは、それより下位の経路交通の予測に対して完全代替の仮定の成立を要求することになる)。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。したがって、便益の計測において競合する経路間に完全代替が成立し、かつOD間の交通需要が固定的であることを前提とする前述の「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」は理論的にはバイアスを持つ。

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ミ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。

- ① 4段階推計法と標準的アプローチでは交通需要予測の手順そのものがそもそも逆になっており、それにより4段階推計法では段階間に不整合が存在する。
- ② ①の予測の手順とも密接に関連するが、4段階推計法では各段階におけるモデルの理論的根拠付けが必ずしも明確でない。
- ③ 配分交通量の予測が一般に4段階推計法では、標準的アプローチに比べて強い制約条件（分布交通量の予測が需要固定型であり配分交通量の予測が競合する経路間における完全代替の成立を前提にしていること）のもとで行われている。

上記の問題点のそれぞれについて説明する前に、ここで改めて標準的ミクロ経済理論に基づく標準的アプローチについて確認すると、それは予算制約条件（式(2)）のもとでのたかだか準線形の効用関数（式(1)）の最大化である（無条件の効用関数ではなく、ひとつだけ制約条件があり、その条件がせいぜい効用関数が準線形であるということ）に留まっているということ）。

1) 予測の手順と段階間の整合性

費用便益分析の基礎となっている経済理論に基づく標準的アプローチは、式(1)、(2)に示すように路線 $i(i=1,2,\dots,n)$ の交通量 x_i の算出における効用最大化として定式化されており、これはとりもなおさず経路交通量の算出における定式化である。すべてのゾーン間の経路交通量をリンク毎に集計することにより配分交通量が求められ、それをさらに順次交通機関、ゾーン間、ゾーン毎に積み上げて集計することによってより上位の段階にある分担、分布、発生・集中の交通量が求められることになるので、標準的アプローチでは、「下から上へ」向かって交通量を算出することになることが分かる。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 ($T_{ij} = C \cdot G_i^\alpha A_j^\beta D_{ij}^{-\gamma}$) を求めるために必要となるゾーン間時間距離 D_{ij} 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 D_{ij} 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。

2) 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、この経路交通量を順次リンク、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以下でみるように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。分担交通量の予測モデルである転換率モデル等も発生・集中、分布交通量予測モデルと同様に基本的には相関モデルである。

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。

3) 配分交通量の予測における強い制約条件

実務における4段階推計法による予測では、前述のとおり自動車交通に関する限り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 ΔB 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 ΔB は式(27)のようなになる。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）

$$\begin{aligned} \Delta B = & \int_{x_1^o}^{x_1^w} P_1(x_1) dx_1 + \int_{x_2^o}^{x_2^w} P_2(x_2) dx_2 - \left\{ \int_0^{x_1^w} C_1^w(x_1) dx_1 - \int_0^{x_1^o} C_1^o(x_1) dx_1 \right\} \\ & (\Delta GCS_1) \quad (\Delta GCS_2) \quad (\Delta SC_1) \\ & - \left\{ \int_0^{x_2^w} P_2(x_2) dx_2 - \int_0^{x_2^o} P_2(x_2) dx_2 \right\} \\ & (\Delta SC_2) \end{aligned} \quad (27)$$

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。

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \int_{x_1^o}^{x_1^w} P_1(x_1) dx_1 + \int_{x_2^o}^{x_2^w} P_2(x_2) dx_2 &= \int_{x_1^o}^{x_1^w} P_1(x_1) dx_1 + \int_{x_2^o}^{x_2^w} P_2(x - x_1) dx_2 \\ (\Delta GCS_1) \quad (\Delta GCS_2) & \\ &= \int_{x_1^o}^{x_1^w} P_1(x_1) dx_1 + \int_{x - x_2^o}^{x - x_2^w} P_1(x_1) (-dx_1) = \int_{x_1^o}^{x_1^w} \{P_1(x_1) - P_1(x_1)\} dx_1 = 0 \end{aligned} \quad (32)$$

したがって、式(27)の ΔB は式(33)として得られる。

$$\begin{aligned} \Delta B &= -\left\{ \int_0^{x_1^w} C_1^w(x_1) dx_1 - \int_0^{x_1^o} C_1^o(x_1) dx_1 \right\} - \int_{x_2^o}^{x_2^w} P_2(x_2) dx_2 \\ &= -\Delta SC_1 - \Delta SC_2 = -(\Delta SC_1 + \Delta SC_2) \\ &= -\Delta SC \end{aligned} \quad (33)$$

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 ΔGCS は $\Delta GCS_1 = -\Delta GCS_2$ よりゼロとなり、便益の変化 ΔB 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。

(2) 問題点解消のためのこれまでの取り組み

前節の1)～3)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の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1)及び2)の問題点はほぼ解消済である。

1) 非集計ロジットモデルの導入

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とその後の積み上げは後述する式(34)～(46)のようになる。ゾーン ij 間に存在する交通機関 m において経路 r を選択する確率 P_{ijmr} は式(34)によって定義されるが、代表的個人がゾーン ij 間の交通機関 m の経路 r を利用する場合の効用を U_{ijmr} とし、その誤差項 ε_{ijmr} が確率密度関数が式(35)で示されるガンベル分布に従うとすると式(34)の選択確率 P_{ijmr} は式(36)のようになる。この選択確率 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_{ijm} (これは式(38)に示すように v_{ijmr} の入れ子構造として表わすことができる)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} (式(39))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 $P_{ijm} \cdot T_{ij}$ (式(40))となる。順次同じ手続きで、 v_{ij} (式(41))、 P_{ij} (式(42))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 $P_{ij} \cdot G_i$ (式(43))と表現し、さらに、 v_i (式(44))と v_i^0 (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 (式(45))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 $P_i \cdot T_i$ (式(46))となる。

(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)

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

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
 ε_{ijmr} : ガンベル分布に従う効用の誤差項

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

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

$$T_{ijmr} = P_{ijmr} \cdot T_{ijm} \tag{37}$$

ここで、 T_{ijmr} : ゾーン ij 間の交通機関 m の経路 r の交通量 (経路交通量)
 T_{ijm} : ゾーン ij 間の交通機関 m の交通量 (分担交通量)

$$v_{ijm} = \ln \sum_{r=1}^R \exp(v_{ijmr}) \tag{38}$$

$$P_{ijm} = \frac{\exp(v_{ijm})}{\sum_{m=1}^M \exp(v_{ijm})} \tag{39}$$

$$T_{ijm} = P_{ijm} \cdot T_{ij} \tag{40}$$

ここで、 v_{ijm} : 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
 P_{ijm} : ゾーン ij 間において交通機関 m を選択する確率
 T_{ij} : ゾーン ij 間の交通量 (分布交通量)

$$v_{ij} = \ln \sum_{m=1}^M \exp(v_{ijm}) = \ln \sum_{m=1}^M \exp\{\ln \sum_{r=1}^R \exp(v_{ijmr})\} \tag{41}$$

$$P_{ij} = \frac{\exp(v_{ij})}{\sum_{j=1}^N \exp(v_{ij})} \tag{42}$$

$$T_{ij} = P_{ij} \cdot G_i \tag{43}$$

ここで、 v_{ij} : ゾーン ij 間で交通行動を行った場合の効用の確定項
 P_{ij} : ゾーン i からの交通が目的地としてゾーン j を選択する確率

G_i : ゾーン*i*から発生する交通量 (発生交通量)

$$v_i = \ln \sum_{j=1}^N \exp(v_{ij}) = \ln \sum_{j=1}^N \exp[\ln \sum_{m=1}^M \exp\{\ln \sum_{r=1}^R \exp(v_{ijmr})\}] \quad (44)$$

$$P_i = \frac{\exp(v_i)}{\exp(v_i^0) + \exp(v_i)} \quad (45)$$

$$G_i = P_i \cdot T_i \quad (46)$$

ここで、
 v_i : ゾーン*i*から交通行動を起こす場合の効用の確定項
 v_i^0 : 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
 P_i : ゾーン*i*において交通行動を起こす確率
 T_i : ゾーン*i*の人口

2) 非集計ロジットモデルによる方法の意義

前項で記述した非集計ロジットモデルによる方法の積み上げの構造を図示すると図-3のようになる。図-3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 が与えられると一連の積み上げにより 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構造になっていることを示している。このことから、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、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 ε_{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1)及び2)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。前節の問題点のうち3)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 T_i 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整理できる。

第2章第3節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ため当然標準的ミクロ経済理論と整合的である。実務における一般的な方法である4段階推計法は、第4章第1節からも明らかであるが、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、第4章第2節で説明したとおり、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 T_i 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幸弘(2003)、城所幸弘(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て、いわゆる「台形公式」で便益を計測する場合にも言えることである。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ようになる。

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分かるように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、式(46)におけるゾーン毎の人口 T_i 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が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、「月がとつ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なか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で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においてである。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（図-3）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が、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決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つた。したがって、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。このことは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、前章でも記述したように、予測の段階間に整合性があるのか否か、各段階のモデルに理論的根拠付けがあるのか否か、OD交通量の予測が需要固定的か需要変動的か、さらには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とである。

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ミ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。

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ミ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ものである。標準的ミ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論理の同一性、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、標準的ミ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（表-1の〔I〕の方法）と今後その取り組みを目差すべき方法（表-1の〔Ⅲ〕を修正した方法）の2つの方法を提案した。

謝辞

本稿を書くにあたり、松岡 齊氏（(財)日本総合研究所）と横沢香奈江さん（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。

[参考文献]

- 1) 金本良嗣(2004): 消費者余剰アプローチによる政策評価、RIETI Discussion Paper Series 04-J-042、独立行政法人 経済産業研究所。
- 2) 金本良嗣・蓮池勝人・藤原 徹(2006): 「第2章 消費者余剰アプローチによる政策評価」、『政策評価ミクロモデル』、東洋経済新報社。
- 3) 城所幸弘(2003): 「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、(財)運輸政策研究機構。
- 4) 城所幸弘(2005): 「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、財務省財務総合政策研究所。
- 5) 桐越 信・安部勝也・毛利雄一(2005): 「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』、平成17年7月号(Vol.48、No.7)、pp.24～36。
- 6) 桐越 信・毛利雄一(2006): 「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－」、『道路整備と費用負担に関する基礎的研究』、道経研シリーズ A-128、(財)道路経済研究所。
- 7) Ottaviano G., T.Tabuchi and J.-F. Thisse(2002): 「Agglomeration (and trade revisited)」、International Economic Review 43、pp.409～436。

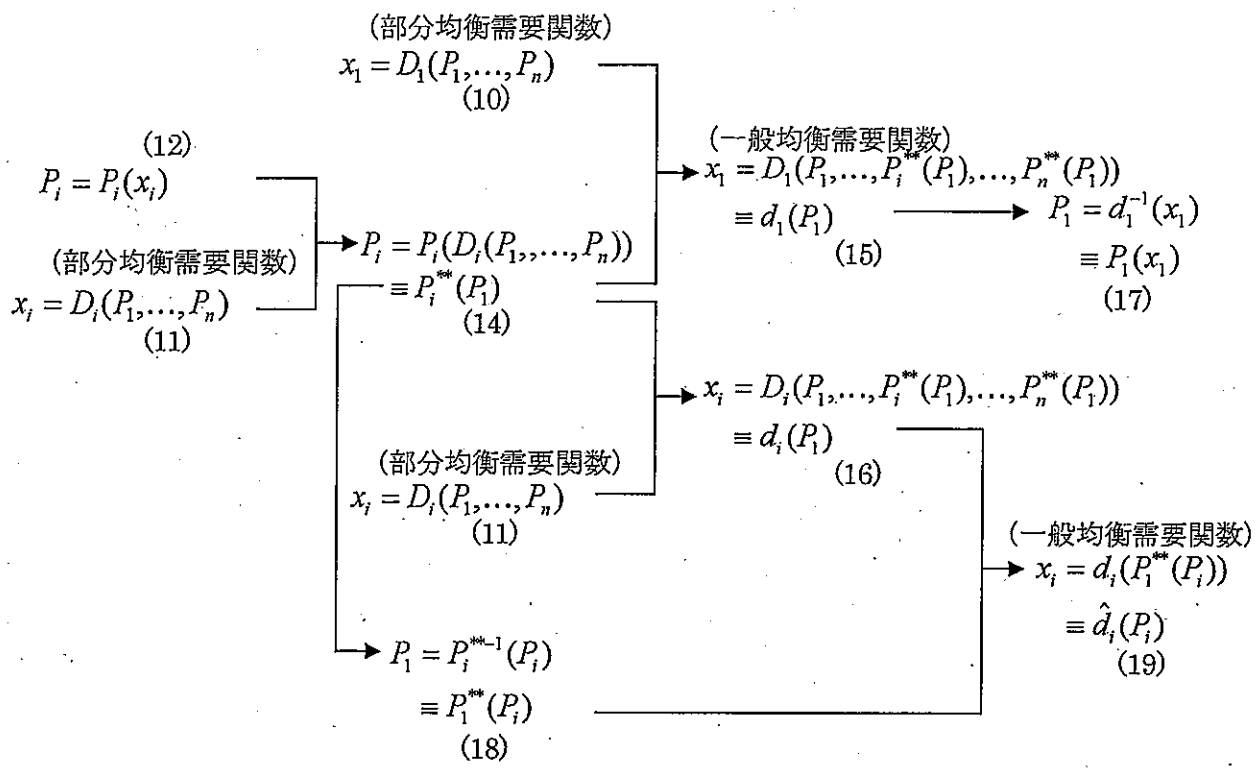


図-1 部分均衡需要関数と一般均衡需要関数の関係

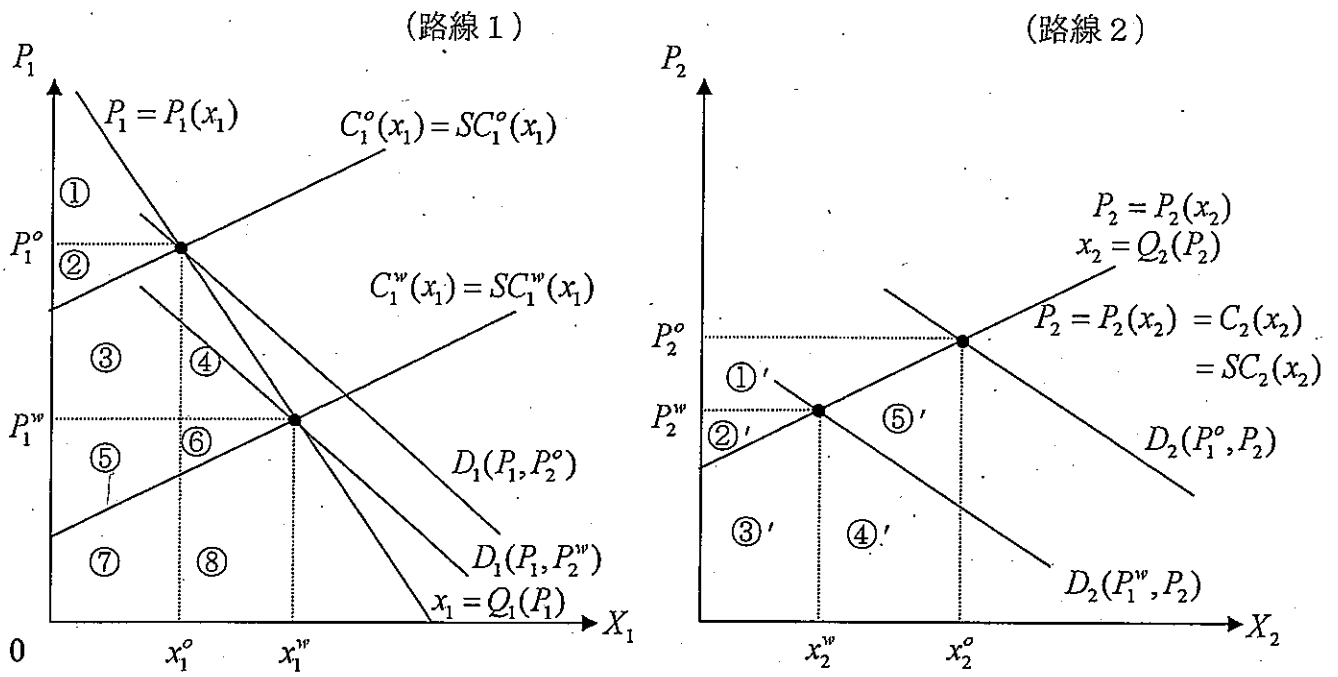


図-2 2路線（代替的）の場合の便益の変化（ ΔB ）
 $(C(x)=SC(x))$

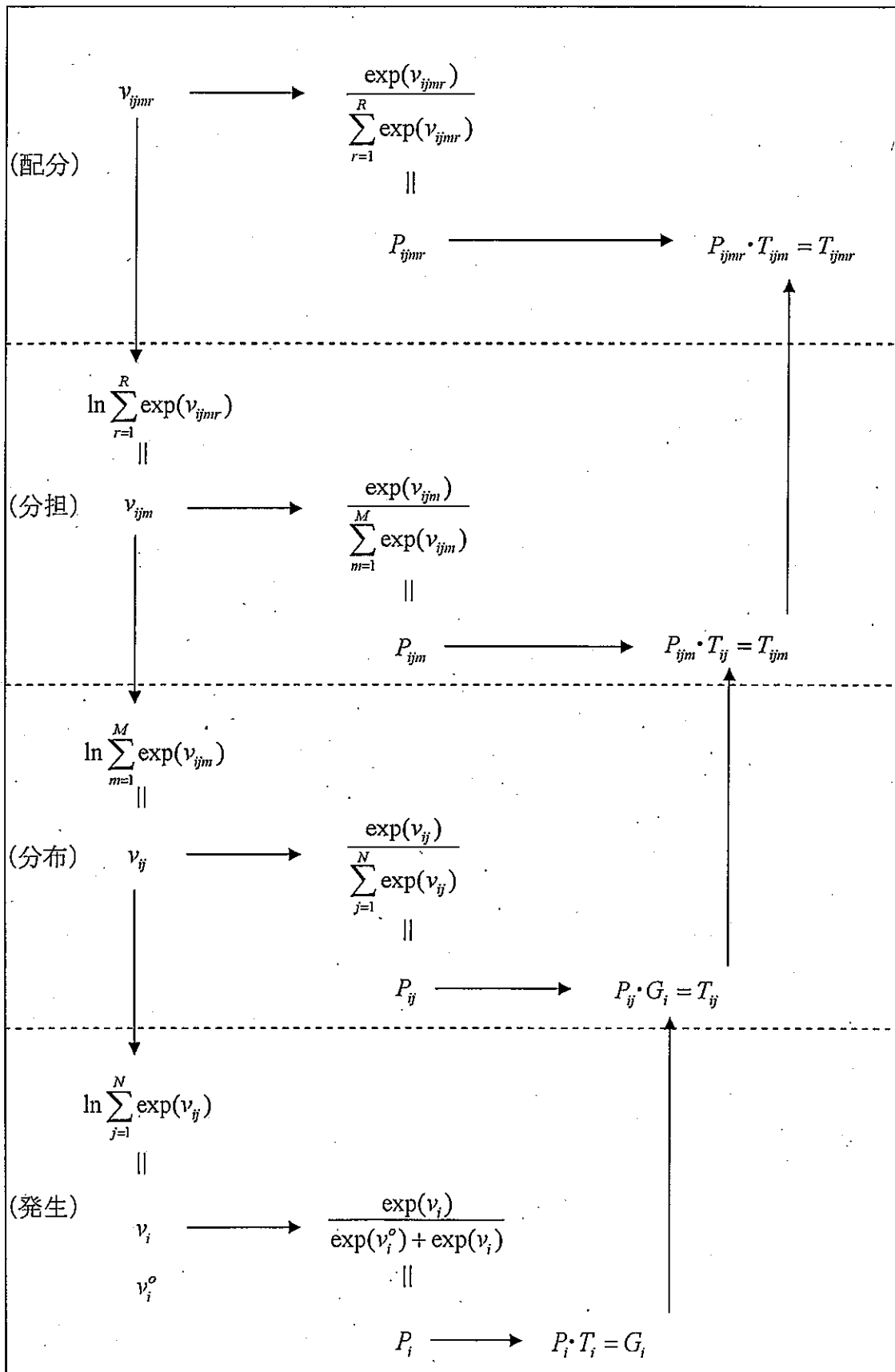


図-3 非集計ロジットモデルによる積み上げ構造

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)

経路交通量の予測 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せず (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]