

Ⅱ. 論 文

■一般論文

- 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—

■IBSフェローシップ論文最終報告

- シンガポールの都市国家形成の評価

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。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（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ー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。

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

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

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

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

(1階条件)

($i = 2, \dots, n$)

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

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。

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

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

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。

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

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

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。

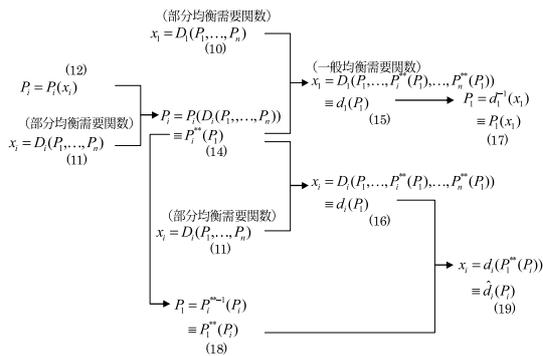


図-1 部分均衡需要関数と一般均衡需要関数の関係

便益 (=社会的余剰) の変化 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。

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

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

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

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 (ΔCS) は式 (24) のようになる。

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

一方、生産者余剰の変化は式 (25) のようになり、 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。

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

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

$(\Delta GCS) \quad (\Delta SC)$

$$= \Delta B_1$$

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 (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。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 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 ΔB 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 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。

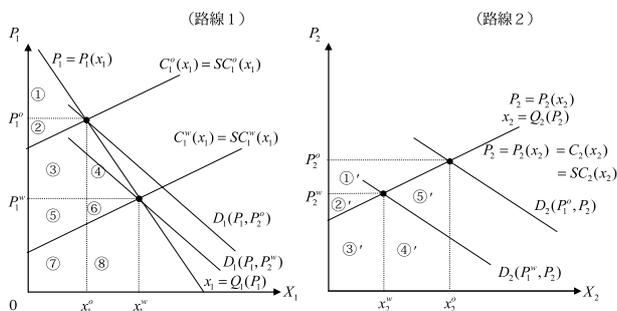


図-2 2路線(代替的)の場合の便益の変化(ΔB) (C(x) = SC(x))

(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

ε_{ijmr} : ガンベル分布に従う効用の誤差項

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

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

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

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 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 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交通量の予測が必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交通量の予測が必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

シンガポールの都市国家形成の評価

Planning and Development in Singapore

藤井 康幸*

By Yasuyuki FUJII

1. はじめに

シンガポールが1965年の建国後短期間で、アジア離れした都市空間を作り上げたことは事実である。国家主導で作られた効率重視で統制の取れた都市空間は、当初は世界で最も“退屈な”都市と評価されたこともあるが、現在のシンガポールの評価には、清潔、安全、コスモポリタンに、ダイナミック、エキサイティングが加わりつつある。

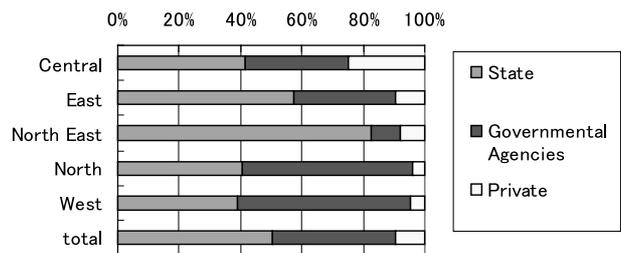
本調査研究は、シンガポールの都市国家形成期から今日に至るまでの計画と開発の経緯、具体には、土地利用、都市再開発・都市開発、住宅、交通・都市インフラ、都市国家戦略・経済振興について整理分析し、一定の評価を行うとともに、日本における今後のより良い計画と開発の展開に関する示唆を得ることを目的とした。

2. 土地利用

シンガポールの国土利用・都市整備に関する体系は、国土利用、開発の全体方向を規定するコンセプトプランと、5年タームでより具体的な土地利用、開発方針を規定するマスタープランからなる。コンセプトプランはこれまで1971年、1991年、2001年に、マスタープランは、1958年、1980年、1985年、1998年、2003年に策定されている。

今日のシンガポールは国土の約9割が国有地であり、直接的に国が所有している場合と、住宅を扱うHDBといった外庁などの政府機関が所有している場合に分かれる。私有地については、フリーホールドと呼ばれるリース年限のないものと、年限を切ったリースホールドが存在する。リースホールドの基本は99年である。

東京都区部よりも一回り広いに過ぎない約700



(Source) URA55計画地域のDevelopment Guide Planより作成。

図一 計画ゾーン別の官民別土地所有割合

km² というシンガポールの国土は5つの計画ゾーンに分けられ、建国前からの市街地であるCentral計画ゾーンのみが相対的に私有地割合が高い。

2000年時点の用途別の土地利用は、住宅用地15%、業務用地14%、レクリエーション・コミュニティ施設用地17%、インフラ用地17%、その他（防衛、水源涵養地等）37%となっている。統計上の土地利用区分が完全には一致しないものの、東京都区部の土地利用と比較してみると、住宅用地の割合が最大の相違点である。東京都区部では、独立住宅、集合住宅が全体の土地利用の32%を占めているのに対して、シンガポールでは、住宅用地は国土の15%、防衛、貯水池・水源涵養地等のその他の土地利用を除いたものを分母とした場合にも24%にすぎない。シンガポールからみれば低層の住宅地が都市圏周辺部にただらと広がる東京に対して、シンガポールでは大多数が中高層の集合住宅に居住している点が反映されたものといえる。

シンガポールの2006年時点の人口は448万人で、前述のその他の土地利用を除いた人口密度は64人/haとなり、現状の世界最大都市圏・東京都区部134人/ha（2007年）のおよそ半分の密度である。

シンガポールの全31のゾーニングでは基本的に、ゾーンごとに立地可能な用途が限定的に列挙されて

*みずほ情報総研株式会社

いる。例えば、住宅は住宅ゾーンでは立地可能であるが、工業系のゾーンでの立地は認められない。

シンガポールでは、国家の経済発展につながるよう、施設用途についての民間の裁量の引き出しを意図する“白地”ゾーン（日本のいわゆる計画白地とは意味合いが異なる）、e ビジネスタイプの業務施設を意識したB1、B2と呼称される新型ゾーンなどのプロビジネス（産業の支援者）スタンスのゾーニングがいくつか見受けられる。また、全体延床面積の4割までという付随的な条件のもとで、主たる用途と付随用途の混合をはかるものや、住居の1階部分に商業機能の導入を義務づける立体的なものなどの民間誘導型のゾーニングもある。

シンガポールは今日、緑豊かな国土空間を形成し、“グリーンシティ”あるいは“ガーデンシティ”として名高い。1963年に建国の父・リー・クアンユー元首相が始めた植樹キャンペーンがこの端緒とされ、クアンユー元首相は当時『荒廃したコンクリートの都市ジャングルは、人の心を壊してしまう。』と語ったという。今日のシンガポールの公園面積は2,800 haと、東京都区部の2,400 ha足らずと比べて大差は無いが、シンガポールには狭い国土に、公園の他に3,300 haの自然リザーヴ地が存在し、シンガポールは実質的には、東京都区部の約2.6倍のオープンスペースを有している。住宅地でぼうふうや蚊を発生させた者を罰する規定、道路カテゴリーに応じ、建物を建てない部分としての道路バッファとグリーンバッファの確保、高層建築物の中間階に設置されるスカイテラスにおける垂直の緑の確保などのユニークな規定も存在する。

シンガポールの土地利用や計画・開発コントロールは実に体系的で、ゾーニングは一般市民にもわかりやすく明解である。インターネットによる関連の情報提供にも充実したものがある。土地利用規制は、個人等の所有者の財産に係る事項であり、わかりやすさや情報へのアクセスは基本的事項である。シンガポールの仕組みが当然であり、日本のわかりにくさが問題なのであろう。

3. 都市再開発・都市開発

1947年時点においては、シンガポール川河口の中心部405 haに人口30万人が居住し、人口密度は700人/ha超と超過密なものであった。政府によ

る土地収用と民間開発事業者への用地売却を骨子とする都市更新は人民行動党（PAP）が政権をとった後の1964年に開始された。1960年当時には44%にすぎなかった国有地割合は、1982年までには75%程度まで上昇し、1959年から1985年に政府機関が買収した用地は17,690 haと、実にシンガポールの国土面積の3分の1近くにも相当する。政府による土地収用の法的根拠を成した1966年の土地収用法では、現況の土地利用やゾーニング指定のみが考慮され、集約的な土地利用がはかられた場合等の潜在的価値の出現は考慮されなかったため、政府及び外庁等の政府機関は、市場価値よりもずっと割安な価格で、用地を取得することができたとされる。また、買収価格は市場価格と規定年月日時点の価格の安い方の価格によると規定され、通常は不動産価格が上昇しているにもかかわらず、政府の示す規定年月日の価格が、取得価格とされた。

政府用地売却プログラムは、土地収用法1年後の1967年に導入されたもので、政府が土地収用法に基づき、民間権利の輻輳した用地を、街区等の単位でまとめて開発に適した状態にしたうえで、民間事業者に売却するということがなされた。開発実施主体としての「見える手（民間事業者）」と、その裏で用地を準備する「見えざる手（政府）」の巧妙な共同作業とみることができる。URA（Urban Redevelopment Authority、都市再開発庁）では、これまでに都心部の民間不動産開発需要の高い地域を中心に、約1,400物件、延べ840 haの政府用地が民間に売却され、オフィス床200万m²、店舗130万m²、ホテル12,000室、民間住宅52,000戸が生み出され、これらは各々の用途について、国内全体の25~40%相当にもなるとしている。延べ840 haは、現在の国土面積の1.2%に相当し、国土面積に占める民有地の割合がおおよそ10%であることから、官から民へ、民から官への所有の移転を考慮せず単純に捉えた場合には、全民有地の12%程度が、政府用地売却制度によるということになる。

比較的民間の大規模開発を意図する政府用地売却プログラムとは別に、政府の所有する保全物件と空き地の売却もなされ、保全物件についての年次ごとの売却状況は次の通りである。シンガポールの経済成長率が高い時期には売却件数が多くみられ、市場動向を考慮した政府の売却戦略が読み取れる。

シンガポールにおける開発負担金の仕組みは、マ

表一 時期ごとの保全物件売却の状況

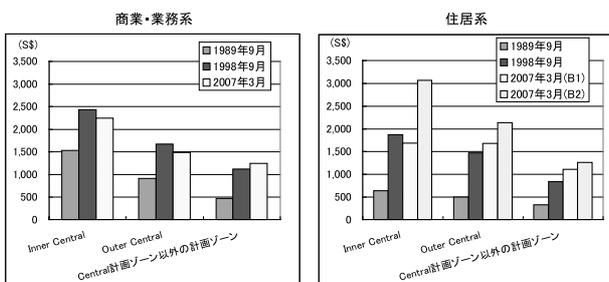
年次	件数	落札価格		敷地面積あたり価格	
		平均(S\$)	中央値(S\$)	平均(S\$/m ²)	中央値(S\$/m ²)
1987-1991年	138	1,141,980	353,519	3,595	1,945
1992-1996年	297	1,634,445	1,180,000	10,033	8,426
1997-2001年	39	1,104,795	1,140,000	8,377	8,193
2002-2007年1月	82	1,032,188	570,000	5,735	5,371
計	556	1,386,241	858,893	7,689	6,508

(Source) URA資料より作成。

マスタープランに規定される以上の開発に対して負担を求めるものである。その金額を変動させることで、民間開発の用途や開発のなされる地理的範囲を規制誘導する力を有し、行政の意図する都市構造の誘導に一定の役割を果たしている。開発負担金のレートは、118の地理的区分と10の開発用途グループにより細かく規定され、MND（国土開発省）と税務当局によって半年ごとに改定される。商業・業務系と住居系の開発負担金の経年状況を比較したとき、住居系の開発負担金の伸びが、商業系に比べて大きいことがわかる。民間住宅開発の需要が高まり、マスタープランにおいて民間住宅開発を想定していなかったところで、民間住宅開発が認められるようになってきたといったこと等が考えられる。

政府用地売却は、市況を見極めつつ戦略的に実施される。市況の冷え込んだ時期には物件を卸さず、市況が活況を呈してくると売却物件を出すというやり口は巧みである。もっとも、民間売却、民間開発といっても、開発内容は、地域や都市国家全体の目指すべき像や都市の物的環境との合致が求められ、そこに官と民のパートナーシップが成立している。

民間の不動産取引が、「言い値はこれこれ、うちいくらかは想定される開発負担金」といった形でなされることにみられるよう、シンガポールにおける開発負担金制度は、透明性と開発計画検討時の事前予告性の高い仕組みであり、かつ、民間開発を誘導しうる優れたツールであるといえよう。



(Source) URA資料より作成。

図二 地域別の開発負担金の推移

4. 住宅

HDB (Housing Development Board、住宅開発庁) は建国当初より、土地収用によって中心部のスラムを解消し、“HDBフラット”と呼ばれる公共住宅の供給を大量に行ってきた。URAが当初HDBの一部局であった点は、住宅開発主導で都市(再)整備が進められたシンガポールに象徴的である。1964年には、所有住宅スキームが打ち出された。それまでの賃貸住宅に代わって、販売住宅の割合が増やされた。HDBは1960年以降、延べ約98万戸にのぼる住宅を供給してきた。1960年には9%にすぎなかったHDB住宅に居住する人口割合は、1969年には35%、1983年には75%と増え続け、1990年には87%にまでなった。今日ではHDB住宅の9割超が所有住宅であり、まさに“Private Ownership of Public Housing (公共住宅の民間所有)”となっている。その結果、民間住宅も合算した持ち家割合は全住宅世帯の93%にもなる。人口密度の高い都市国家にありながら、全世帯の72%が4ルーム(90~100m²程度)以上のHDB住宅または民間住宅に居住している(2004年)。

低所得者のアフォーダビリティ確保はHDB住宅の大きな特色である。例えば、2ルームタイプ(45m²程度)のHDB住宅では、世帯月収S\$2,000を超えないことが購入者の条件とされているが、2ルームタイプのHDB住宅の市場価格はS\$110,000前後であり、中央積立基金(CPF)からの住宅助成金と低所得世帯向け追加助成金を加味すれば、世帯月収S\$2,000の世帯にとって2ルームタイプのHDB住宅は年収の2.7倍となり、好条件のアフォーダビリティが実現されている。

表二 住宅形態別世帯数

住宅形態	所有	賃貸	その他	合計	
HDB住宅	756,761	49,157	6,152	812,070	88.0%
1~2ルーム	8,890	36,992	310	46,192	5.0%
3ルーム	228,968	6,151	2,316	237,435	25.7%
4ルーム	300,852	3,309	2,026	306,187	33.2%
5ルーム・エグゼクティブ	216,045	1,633	1,259	218,937	23.7%
その他	2,006	1,072	241	3,319	0.4%
公共住宅その他	6,889	713	172	7,774	0.8%
コンドミニアム・民間集合住宅	45,980	7,813	1,751	55,544	6.0%
接地型住宅	42,411	2,945	1,608	46,964	5.1%
バンガロー	6,727	452	374	7,553	0.8%
セミバンガロー	14,899	993	531	16,423	1.8%
テラス住宅	20,785	1,500	703	22,988	2.5%
その他	443	433	98	974	0.1%
合計	852,484	61,061	9,781	923,326	100.0%
	92.3%	6.6%	1.1%		

注：シンガポールでは、リビングルームが1部屋としてカウントされ、例えば4ルームタイプは、日本でいうところの3LDKタイプに相当する。

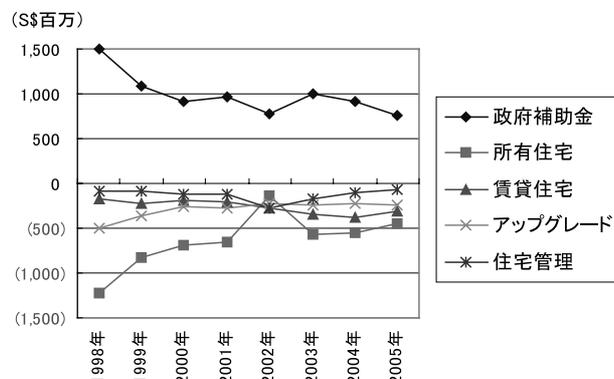
(Source) Population Census 2000

1990年代からは新築による公共住宅供給に合わせて既存住宅の改修や建替えによるアップグレードに力が入れている。また、2003年のHDBの組織改編の影響もあり、それまでは新規の住宅供給を中心に充当されてきた政府補助金は減少している。2004年以降のHDB住宅の新規供給は、年間5千戸台と、ピークであった1998年の年間約3.7万戸からはおよそ7分の1までに減少し、HDB住宅に居住する人口割合は微減に転じている。

HDBフラットの林立するシンガポールの住環境をいかに評価するかは主観も入り難いが、少なくとも、米国のスクラップアンドビルド型都市更新が招いた高層住宅コミュニティの崩壊、犯罪の多発などといった問題は、シンガポールには無縁である。HDBの計画住宅地には、商業、コミュニティ機能だけでなく、業務、生産機能まで組み込まれており単なるベッドタウンではない。こうした設計思想が早い時期から組み込まれていた点は評価に値する。

国民の所得が高くなり、人々の要求水準が高くなるにつれ、今後、国民の大多数がHDBの集合住宅に居住するという状況に変化が出てくることが見込まれる。1990年代以降、HDB住宅を更新したり、建替えたりすることが多くなってきているが、こうした動きは、日本と同水準の合計特殊出生率からは避けがたい将来の少子高齢化という社会構造変化への対応、及び、民間住宅市場との融合という事項と一体的に扱われる必要がある。

なお、HDBフラットの集合住宅の国という顔を持つ一方で、世帯数割合からすればごく少数ではあるが、最小敷地面積1,400㎡などと規定される良好な戸建住宅地も一部に存在する。



(Source) HDB annual reportsより作成。

図-3 HDBの経常収支

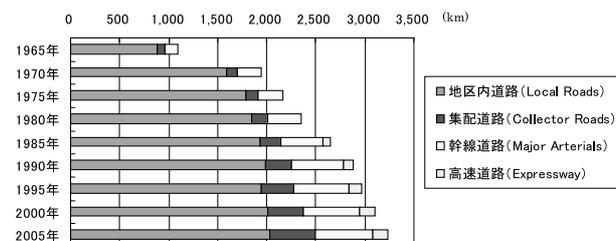
5. 交通・都市インフラ

シンガポールの道路整備の状況を東京と比較すると興味深い結果が得られた。2005年時点のシンガポールの道路総延長は3,235kmで、道路4種別では、1985年以降、上位の高規格3種別（集配道路、幹線道路、高速道路）のシェアが伸びている。一方、東京都区部の道路総延長は11,828km（2004年）であり、シンガポールの約3.7倍である。シンガポール本島の面積と東京都区部の面積はほぼ同じでありながら、大きな違いである。東京都区部は幅員5.5m未満の道路が過半を占める。道路は自動車交通のためだけではないとはいえ、円滑な自動車交通のために有効に機能していない道路がいかに東京には多いかという点を示すものと解釈できよう。

シンガポールでは、1990年以降、自動車割当制度（VQS）によって自動車台数の総量がコントロールされている。シンガポールの2006年の人口千人あたりの自動車保有台数は124台であり、東京都区部の258台（軽自動車を含む、2004年）と比べても低い水準である。VQSでは、LTA（Land Transport Authority、陸上交通庁）が道路交通状況を判断して毎年の新車登録台数を決定し、毎年の自動車台数の増加が3%となるように設定される。毎月2回の入札が実施され、自動車購入権利証（COE）の価格が市場メカニズムに基づいて決定され、割当がなされる。COE落札価格は、景気要素、需要の大小によってかなり上下する。

1975年のエリア許可制度を自動化する形で、先進国に先駆けて1998年に導入された名高い電子道路課金制度（ERP）は、高速道路で45~65km/h、幹線道路で20~30km/hの移動速度を確保できる交通量に制限できるよう、時間帯に応じて自動徴収する料金を変動させるものである。

国の統制の強さの産物ではあろうが、VQS、COE、



(Source) Singapore Department of Statistics資料

図-4 道路種別延長の推移

ERPなどの先進ツールによる自動車交通の制御は圧巻である。所有と使用の自由の制限にまでは踏み込めないという背景から、現在の世界の大都市の交通問題が存在するわけであるが、英国などでは全国的にロードプライシングを導入しようとする動きも出てきている。シンガポールとほぼ同面積の東京都区部に、シンガポールの3.6倍の自動車台数があるが、道路総延長も同じように3倍ほどはあるので、同じパフォーマンスが期待できるかという点、当然にそうはならない。

交通・都市インフラ関係ではそのほか、シンガポールの空港と港湾のその経営も含めた充実はよく知られるところである。

6. 都市国家戦略・経済振興

シンガポールでは、都心部の整備・開発は都市国家としての戦略・経済振興と連動する形でなされる。進行中の一大開発は、既存都心部に隣接するDowntown at Marina Bayと呼ばれるもので、政府用地売却プログラムが適用された。金融ビジネスセンター、シンガポール初となるカジノ、最高高さ70階の民間コンドミニアム2棟などが建設される。

個別の民間開発についても、民間建物内の一般開放地下通路、芸術性の高い都市空間の形成を目指すアートインセンティブ施策など、容積ボーナスや助成金を付与しつつ、都市機能の整備やアメニティ充足を誘導する施策がみられる。

中継貿易拠点として成長し、今日でも、通商拠点、サプライチェーンマネジメント、金融拠点、サービス産業、観光産業などのイメージを抱かれがちなシンガポールであるが、国土面積の小さな国にあって実は、製造業は非常に発達しており、将来的にもさらにその強化が目指されている。

産業政策を立案し実施するのはEDB（Economic Development Board、経済開発庁）である。シンガポールでは、企業誘致を進め、産業競争力を維持するためのマーケティング、ブランド化が戦略的に行われている。シンガポール政府は、民間調査の各種ランキングで上位にあることを大きな誇りとし、EDBなどの政府機関のホームページにはこうした調査結果が掲載され、国際ビジネスに適した都市であることが強調されている。欧米系の機関が実施するこの種のランキングで上位に登場するアジアの国

は少なく、東洋と西洋の交差する都市国家を形成したシンガポールならではの強みといえよう。

経済的に大発展を遂げた現在、シンガポール人として、また、シンガポールという国として、将来に向けていかに考え、“作り変えていくか”に関し、政府関係者、各方面の有識者、国民等で検討したものが、2003年に発表された「Remaking Singapore 報告書」である。座長は国土開発大臣が務め、良きにつけ悪しきにつけシンガポール人が崇拜してきた概念を5つのCになぞらえて、「Beyond Condo」、「Beyond Credit Card」、「Beyond Cars」、「Beyond Club」、「Beyond Careers」の5つの分科会が設置、議論された。5つのCの各々は自嘲的なニュアンスも込めつつ、シンガポール人の国民性やシンガポール社会を見事に象徴したものといえる。

ダイヤモンド型の国土をしたシンガポールが将来も輝き続けるためには、EDBを中心に展開される産業施策にあるように、常に、先見の明を持って、他国・他地域に先駆けた仕掛けを打っていくことが肝要である。

7. おわりに

都市づくりには、的確、適切な計画が不可欠である。シンガポールはプランニングが存在し、機能している都市国家であるといえる。

建国当初には、過密ショッピングハウス（間口奥行比1:12ともされる細長い敷地に建つ、2階あるいは3階建の伝統的な住商併用住宅）を解消し、居住環境と都市基盤整備が、政府の上からの力で推し進められた。この過程ではミクロにみれば、時には強引な都市更新手法もとられ、財産的な不利益を被った不動産所有者が少なからずいたに違いないが、マクロかつ長期の視点からはみれば、明確なビジョンと計画に基づく基礎的な基盤整備が短期に成し遂げられた意義は大きい。人口密度が高いとはいえ、シンガポールにはリザーヴ地も多く、今後の社会環境に応じて、都市をフィジカルな面から調整していくことが可能である。シンガポールと東京の土地利用を比較してみて、東京の道路率が決して低くないことと住宅地土地利用の割合が相対的に高いことが確認された。ウェブ（蜘蛛の巣）のごとく生活道路の入り乱れる東京の住宅地の物的構造をこれから改編していくことは容易ではない。

シンガポールは現在は、都心部と、地域中心、サブ地域中心の骨格が整った段階であり、今後は、各地域が行きつ戻りつ成熟化に向かうものと思われる。この際には、世代構成や世帯構成といった人口動態への配慮に加え、中国系、マレー系、インド系というシンガポール三大民族の融和という点も重要となる。

シンガポールは都市国家であり、後背地というものはない。途上国は必ずその発展過程で、農村部から第一都市への人口流入があり、今後もその流れは続くと思われる。シンガポールがその都市国家形成に際して、こうした国内ヒンターランド問題に無関係であり、都市国家としての国際競争力強化に注力できたことは幸運であったといえよう。その分、食料、エネルギーの輸入、貿易、他国との良好な関係の維持、共存はシンガポールの命題である。一方で、やはり国土の広さはポテンシャルであるとみることもでき、この点はシンガポールのハンディキャップである。

謝 辞

シンガポールの計画と開発については以前より興味をもっていたところであり、まとまった調査研究の機会をいただいた財団法人計量計画研究所の方々に感謝の意を表したい。調査研究の過程では、シンガポール国立大学の齊藤麻人氏より、様々な貴重な助言を得た。また、奥様が小学校から高校までをシンガポールで過ごされた友人の奥井ご夫妻には、シンガポール在留邦人の生活に関する生きた情報をいただいた。調査研究過程で接点を持ったシンガポール政府機関等の対応者は皆フレンドリーであった。未筆ながら、これらの方々に感謝の意を表する。

本稿が今後のシンガポールの計画と開発に関する研究、ひいては日本におけるより良い計画と開発の展開に少しでも寄与するものであれば望外の幸せである。

主要参考文献

- 1) Perry, M., Kong, L., and Yeoh, B.: Singapore: A Development City State, John Wiley & Sons, Chichester, 1997.
- 2) Yuen, B.: Planning Singapore: From Plan to Implementation, Singapore Institute of Planners, Singapore, 1998.
- 3) Wong, T. C. and Yap, L. A.: Four Decades of Transformation: Land Use in Singapore 1960–2000, Eastern Universities Press, Singapore, 2004.
- 4) Urban Redevelopment Authority: Shaping Singapore: a pictorial journey, Singapore, 2004.
- 5) Tan, J. H.: Urbanization, Planning, and National Development Planning in Singapore, Southeast Asia Development Advisory Group, New York, 1972.
- 6) Chua, P. C.: Planning in Singapore: Selected aspects & issues, Chopmen Enterprises, Singapore, 1973.
- 7) Yeung, Y. M.: National Development Policy and Urban Transformation in Singapore: a Study of Public Housing and the Marketing System, The University of Chicago, Chicago, 1973.
- 8) Land Transport Authority: White Paper: A World Class Land Transport System, 1996.
- 9) Remaking Singapore Committee: Changing Mindsets, Deepening Relationships, 2003.