

# 立地均衡を考慮した応用一般均衡モデルの便益評価への適用\*

## Application for Benefit Evaluation of the Computable General Equilibrium Model considered Location Equilibrium\*

武藤慎一\*\*, 上田孝行\*\*\*

By Shinichi MUTO\*\*, Taka UEDA\*\*\*

### 1. はじめに

筆者らはこれまで立地均衡を考慮した応用一般均衡モデルの開発およびその便益評価への適用に係わる研究に取り組んできた。本稿では、特に便益評価への適用という観点より、立地モデルの発展経緯を概観した上で、当該モデルの適用による便益評価の意義について明らかとする。

### 2. 立地モデルの発展経緯

立地モデルに関しては、レビュー論文も多数見られるが、ここでは理論と実証の両面から立地モデル分析の発展経緯がわかりやすくまとめられているAnas(1987)<sup>1)</sup>に基づき研究レビューを行う。

Anasは、こうしたモデルを4つ(厳密には地域モデルも含む5つ)のカテゴリに分類してまとめている。(1) 単一中心都市モデル(Monocentric models), (2) 空間相互作用モデル(Spatial Interaction Model), (3) 数理計画モデル(Mathematical programming), (4) 計量経済モデル(Econometric model) の4つである。

まず、単一中心都市モデルは都市経済学の中で発展してきたものであり、その名のとおりに都市の中心に単一の業務地区(Central Business District: CBD)をもち、都市住民は全てそこで働くという非常に単純な仮定の下で、住民の立地がどのように決定されるのかを明らかとしたものである。これらのモデルは、実際の都市を非常に単純化しているという点での批判もあるが、住宅立地あるいは都市形成のメカニズムの本質が明らかにされた点で有益といえる。また、厳密なミクロ経済的基礎を有するモデルであり、厚生経済学における主要なテーマであった市場メカニズムと社会厚生との関係を都市経済の枠組みの中で明らかとすることができる。さらに、交通整備が社会厚生に与える影響を評価することもできる。すなわちこれは費用便益的に見て効率的

な整備について検討できることを意味する。

空間相互作用モデルは、その古典とも言えるものがLowryモデル(1964)であるが、それらはアクセシビリティ等を考慮したグラビティタイプのポテンシャル関数により立地配分を行うというものである。しかし、これらのモデルは、単一中心都市モデル等の理論研究とは、基本的には独立に開発されており、必ずしも理論研究と整合のとれたものとはなっておらず、どちらかという政策の実施による都市変化の予測を行うためのモデルであった。そのため、本モデルには厳密な意味での費用便益分析が実施できないという問題がある。なお、これらは90年以降、都市経済理論の枠組み、例えば土地市場メカニズムに基づく地代、地価の内生化等の構造を取り入れたモデルへと拡張が図られ、発展が進んでいる。

数理計画モデルは、数理計画手法を立地モデル分析に援用したものである。すなわち、単一中心都市モデルを数理計画問題に置き換え、その最適化問題を解くことにより、立地均衡解を数学的あるいは数値的に明らかとするものである。これらは、理論の数値計算という点より大きな期待が寄せられたが、こうしたモデルでは、分散的傾向を持つ都市分布の表現がうまくできないという問題があり、現実都市への適用はほとんどなされなかった。なお、交通ネットワーク均衡理論を拡張して立地モデルを構築したモデルについてもAnasはこのカテゴリに分類している。

計量経済的モデルは、Anasの分類では空間相互作用モデルが試みた現実都市に対する立地配分を、都市経済理論、より具体的にはミクロ経済的行動原理に基づき構築された立地モデルによる計算を試みたものとされている。これらのモデルは、90年代以降、わが国においても研究開発が進められたものであり、柏谷(1986)、森杉・大野・宮城(1991)、林・土井・奥田(1990)、Miyamoto and Kitazume(1990)、Ueda et al(1993)がそれであり、上田・堤(1999)<sup>2)</sup>はそれらのモデルの持つ特徴を含んだ統合フレームを提示することにより研究の整理を行っている。

以上のAnasの分類それぞれにおいて、90年以降もめざま

\* キーワーズ：立地均衡，CGEモデル，便益評価

\*\* 正会員 博(工) 大阪工業大学工学部環境工学科

(大阪市旭区大宮 5-16-1, TEL: 06-6954-4203,

FAX: 06-6952-6197, E-Mail: muto@env.oit.ac.jp)

\*\*\* 正会員 博(工) 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻

しい研究の進展が見られる．その中で，実証分析という観点からは，空間相互作用モデルと計量経済的モデルに基づく研究が重要と言える．空間相互作用モデルをベースとしたものは，地代の内生性等，都市経済理論を取り入れながら発展を続け，一方計量経済的モデルは，都市経済理論に基づくモデルを現実都市へ適用するべく発展してきた．したがって，両研究は最終的には同一の分析フレームをもつ研究となったように思えるが，しかしその根幹はやはり異なっていると考えられる．すなわち，計量経済的モデルでは，実証分析へ適用した場合にも都市経済理論で見出された貴重な成果，例えば都市システムと社会厚生との関係等については原則として同様のことが説明できる．しかし，空間相互作用モデルに基づくものは，価格変化等が捉えられていても，都市経済理論とは不整合な部分が残るため，正確な費用便益分析が行えているのか常に疑問が残ってしまうという点が問題と考えられる．

筆者らがこれまで提案してきた立地均衡を考慮したCGEモデルは，上の定義から言うと計量経済的モデルに位置づけられる．本稿では，当該モデルに基づく便益評価について詳細に示すことにより，そうした分析の意義について明らかとする．

### 3．立地均衡を考慮したCGEモデルを用いた便益評価

立地均衡を考慮したCGEモデルの構造については，紙面の都合等により既存研究<sup>3)</sup>を参照されたい．ここでは，それらのモデルに基づき便益定義を行い，それを展開して帰着形を示すことにより，当該モデルを用いて便益評価を行うことの意義について明らかとする．

まず，本モデルでは，立地均衡モデルを以下の最適化問題により定式化している．なお，ここでは基本的に家計についてのみ示すこととする．

$$S_j^{H*} = \max_{P_{ji}^H} \left[ \sum_i \xi_i^H \frac{1}{\sigma_s^H} \left( P_{ji}^H \cdot V_{ji}^H \right)^{\rho_s^H} \right]^{\frac{1}{\rho_s^H}} \quad (1a)$$

$$\text{s.t. } \sum_i P_{ji}^H = 1 \quad (1b)$$

ただし， $P_{ji}^{Fm}$ ：ゾーン  $j$  に勤務する家計のゾーン  $i$  の住宅地選択確率， $V_{ji}^H$ ：効用水準， $\xi_i^H$ ：分配パラメータ， $\sigma_s^H$ ：代替弾力値を示すパラメータ， $\rho_s^H = \frac{\sigma_s^H - 1}{\sigma_s^H}$ ， $S_j^{H*}$ ：最大期待効用値を表す．

なお，式(1)を解くと以下のように立地選択確率が得られ，

それを式(1a)の目的関数に代入することにより期待効用に基づく効用水準  $S_j^{H*}$  も求められる．

$$P_{ji}^H = \frac{\xi_i^H \left\{ V_{ji}^H \right\}^{\sigma_s^H - 1}}{\sum_k \xi_k^H \left\{ V_{jk}^H \right\}^{\sigma_s^H - 1}} \quad (2a)$$

$$S_j^{H*} = \left[ \sum_i \xi_i^H \left( V_{ji}^H \right)^{\sigma_s^H - 1} \right]^{\frac{1}{\sigma_s^H - 1}} \quad (2b)$$

なお，式(1a)に示す目的関数は，CGEモデル等で効用関数形として用いられるCES型関数に基づき定式化を行ったものである．すなわち，本関数によれば  $\rho_s^H = 1$  すなわち  $\sigma_s^H = \infty$  のとき，式(1a)は以下のように単純な期待効用関数に書き換えられる．

$$S_j^{H*} = \max_{P_{ji}^H} \left[ \sum_i \left( P_{ji}^H \cdot V_{ji}^H \right) \right] \quad (1a')$$

これを解くと，効用均等型の立地配分モデルが導出される．一方， $\rho_s^H = 0$  すなわち  $\sigma_s^H = 1$  のとき，式(1a)は以下のようなコブダグラス型関数となる．

$$S_j^{H*} = \max_{P_{ji}^H} \left[ \prod_i \left( P_{ji}^H \cdot V_{ji}^H \right)^{\xi_i} \right] \quad (1a'')$$

これを解くと， $P_{ji}^H = \xi_i$  となり立地選択確率が変化しないケースとなる．こうして  $\sigma_s^H$  は立地選択確率が効用均等型配分から固定配分まで，その調整の役割を果たすパラメータとなっていることがわかる．

次に，式(1)で用いた家計の効用水準  $V_{ji}^H$  について示しておく．これらは家計の効用最大化行動より導出されるが，その詳細は既存研究に任せるとして，ここではその効用最大化行動モデルをCES型効用関数で特定化した場合の効用水準の形を示す．ここでは例として，家計が合成財と余暇，交通財の決定を行う段階のものについて，得られた効用水準を示す．

$$V_{ji}^H = M_i \cdot \Delta_i^{\frac{1}{\sigma_s^H - 1}} \quad (3)$$

ただし， $\Delta_i = \beta_Z p_Z \sigma_s^H - 1 + \beta_S p_L \sigma_s^H - 1 + \beta_T q_T \sigma_s^H - 1$ ．

また， $M_i$ ：所得， $p_Z, p_L, q_T$ ：それぞれ合成財価格，余暇価格(賃金率)，交通一般化価格， $\beta_Z, \beta_S, \beta_T, \sigma_s^H$ ：パラメータを表す．

式(2)と(3)に基づき便益を定義する．ここでは森杉ら<sup>4)</sup>に基づき期待効用にに基づく効用水準に対し等価的偏差(EV)を適用して便益を定義する．

$$\left[ \sum_i \zeta_i^H \left( \{M_i^A + ev\} \cdot \Delta_i^A \frac{1}{\sigma_s^{H-1}} \right)^{\sigma_s^H - 1} \right]^{\frac{1}{\sigma_s^H - 1}} = \{S_j^{H*}\}^B \quad (4)$$

ただし、添字  $A, B$  : それぞれ整備なしとありを表す。

ここで、本来所得には添字  $i$  がつくが、ここでは全ゾーン共通であるとする。これは、例えば森杉らに基づき、通勤交通についても需要関数に基づき定式化することを想定しても良く、本質的な問題とはならないと思われる。すると、 $ev$  は以下のように得られる。

$$ev = \frac{\{S_j^{H*}\}^B - \{S_j^{H*}\}^A}{\left[ \sum_i \zeta_i^H \Delta_i^A \right]^{\frac{1}{\sigma_s^H - 1}}} \quad (5)$$

式(5)は以下のように展開できる。

$$ev = \frac{1}{\left[ \sum_i \zeta_i^H \Delta_i^A \right]^{\frac{1}{\sigma_s^H - 1}}} \int \sum_i \frac{\partial S_j^{H*}}{\partial V_{ji}^H} dV_{ji}^H \quad (6)$$

式(2b)を  $V_{ji}^H$  で微分すると、 $S_j^{H*}$  の一回微分が得られる。

$$\frac{\partial S_j^{H*}}{\partial V_{ji}^H} = \left[ \sum_k \zeta_k^H \left\{ \frac{V_{jk}^H}{V_{ji}^H} \right\}^{\sigma_s^H - 1} \right]^{\frac{1}{\sigma_s^H - 1}} \cdot P_{ji}^H \quad (7)$$

今、 $\left\{ \frac{V_{jk}^H}{V_{ji}^H} \right\} = 1$  としよう。すると、

$$\frac{\partial S_j^{H*}}{\partial V_{ji}^H} = P_{ji}^H \quad (8)$$

となる。

そこで、式(8)を式(6)に代入する。

$$ev = \frac{1}{\left[ \sum_i \zeta_i^H \Delta_i^A \right]^{\frac{1}{\sigma_s^H - 1}}} \int \sum_i P_{ji}^H dV_{ji}^H \quad (9)$$

これは、森杉らが立地配分をロジットモデルに基づいて定式化した立地モデルによる便益計測の帰結と同様の形となっている。

$dV_{ji}^H$  については、便益帰着構成表を作成する手順に則れば、以下のように消費者余剰形に帰着することが知られている。

$$dV_{ji}^H = \lambda [-x_z dp_z - x_s dp_s - x_t dq_t + dM] \quad (10)$$

ただし、 $\lambda$  : 効用最大化問題を解く際に用いられるラグランジュ乗数。

さらに、本モデルは一般均衡に基づいており、交通の所

要時間に係わる余剰変化以外は、キャンセルアウトすることが示されており、したがって式(10)は以下のように整理される。

$$dV_{ji}^H = -\lambda x_t dt \quad (11)$$

これを式(9)に代入すると、

$$ev = -\frac{\lambda}{\left[ \sum_i \zeta_i^H \Delta_i^A \right]^{\frac{1}{\sigma_s^H - 1}}} \int \sum_i P_{ji}^H x_t dt \quad (12)$$

ここで、ゾーン  $j$  で勤務する従業者に対する便益は式(11)にゾーン  $j$  で勤務する従業人口数を乗じれば良い。

$$\begin{aligned} EV_j &= E_j \cdot ev \\ &= -\frac{\lambda}{\left[ \sum_i \zeta_i^H \Delta_i^A \right]^{\frac{1}{\sigma_s^H - 1}}} \int \sum_i N_{ji} x_t dt \quad (13) \end{aligned}$$

さらに、式(13)を  $j$  に対し総和をとれば、総便益が計算できる。

式(13)の積分内の式は、消費者余剰の変化分を表す。すなわち、これは本モデルにおいても最終的に便益は、近似的に消費者余剰の変化分により計測できることが示されたものと言える。

#### 4. 立地変化を考慮した便益評価

前章より、最終的に立地変化を考慮した場合にも、便益

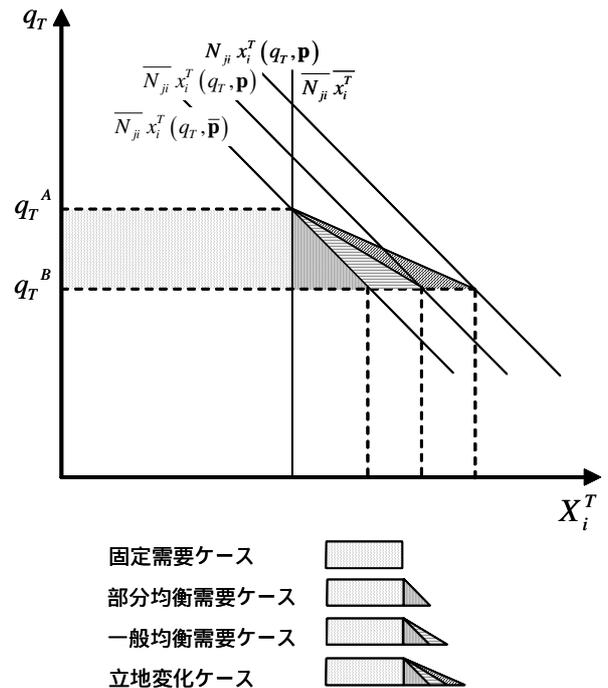


図-1 消費者余剰に基づく便益計測

は消費者余剰の増分として計測できることが示された。これは、すなわち図-1に示す形で便益が計測されることを意味する。

図-1は、交通需要関数を示したものである。ただし、当該ゾーンの人口数も乗じた総交通需要関数である。

このゾーンにおいて交通整備がなされた場合を考える。この場合、4パターンの便益を考えることができる。まず、固定需要のケースである。これは、図-1において薄い影をつけた四角の面積にて表される。次に、需要変動ケースであるが、これは部分均衡型と一般均衡型に分けられる。一般均衡型では需要関数がシフトすることが知られている。そのため、まず 部分均衡型は固定需要ケースに対し、濃い影をつけた三角形の面積が付け加えられる。さらに、一般均衡型は横線をつけた三角形の面積が追加される。最後に、立地変化ケースである。本ゾーンの交通サービス水準の向上に伴い立地が増加することが予想される。この立地増は、総交通需要関数をさらに右方へシフトさせる。したがって、便益は一般均衡型に対し斜線をつけた三角形の面積がさらに付け加えられる。

一方、整備がなされないゾーンについては、交通所要時間の変化もないため便益は変化しない。これは、固定需要ケースも立地変化ケースも同様である。次に、当該ゾーンにも若干の整備がなされた場合を考える。しかし、相対的には図-1で示したゾーンの方が大きなものであるとする。この場合、本ゾーンにおいても便益が生じるが、しかし図-1で示したゾーンの方がより整備水準が高いため、立地はそちらに変化する。このときの整備水準が低いゾーンにおける便益計測について示したものが図-2である。図-2で

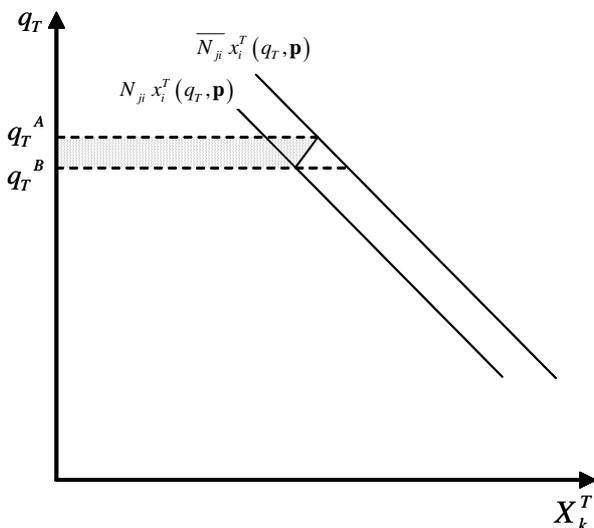


図-2 整備水準が低いゾーンの便益

は、図-1とは逆に立地変化型の総需要関数は左方へシフトする。そのため、便益もその分低く計測されることがわかる。

以上、立地変化ケースとして示したものが、本CGEモデルに基づく便益計測を行った場合に新たに考慮できる便益である。

## 5. おわりに

本研究では、まず便益評価という観点からこれまでの立地モデルに係わる発展経緯をまとめた上で、筆者らが構築してきた立地均衡を考慮したCGEモデルに基づく便益定義とそれを展開することによる帰着形を示した。その結果、等価的偏差EVによる便益は、最終的に消費者余剰の増分として計測できることを示した。

今後は、それらを数値的にみてどの程度の値となりうるのかを明らかとする必要があると考えている。すなわち、立地変化も含む間接効果が、実際のプロジェクトではどの程度となっているかを数値的に示す必要があると考えられる。

## 参考文献

- 1) Anas, A. : Modeling in Urban and Regional Economics, Fundamentals of Pure and Applied Economics 26, Harwood Academic Publishers, 1987.
- 2) 上田孝行, 堤盛人: わが国における近年の土地利用モデルに関する統合フレームについて, 土木学会論文集, No.625 / -44, pp.65-78, 1999.
- 3) 武藤慎一, 伊藤聖晃: 都市交通に係わる環境施策評価のための立地均衡を考慮した応用一般均衡モデルの開発, 環境システム研究論文集, Vol.33, pp.275-284, 2005.
- 4) 森杉壽芳, 大野栄治, 宮城俊彦: 住環境整備による住み替え便益の定義と計測モデル, 土木学論文集, No.425 / -14, pp.117-125, 1991.