

都市交通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*

Construction of the CGE model combined location equilibrium to evaluate urban transport projects*

武藤慎一**, 伊藤聖晃***

By Shinichi MUTO**, Toshiaki ITO***

1. はじめに

都市交通施策評価のために、土地利用 - 交通モデルが開発されてきた。ここでは、交通施策が土地利用にまで及ぼす影響を捉えた上で評価を行う必要があること、あるいは土地利用変化が交通の発生パターンにどう影響するのかを踏まえて交通施策を評価する必要のあることが指摘されていた。さらに、上田ら¹⁾により、土地利用モデルにおいて、ミクロ経済

学的基礎を付与することにより、便益評価にも使用できる立地均衡モデルが提案され、筆者らはそれらを応用都市経済(Computable Urban Economic: CUE)モデルとして、実用化を進めてきた。近年になり、都市環境に関わる問題が深刻化しており、そうした問題に対する都市環境政策を評価する上でも、土地利用あるいは立地の影響の考慮がますます重要となると考えられる。

一方、施策・政策の便益評価においては、一般均衡理論に基づく研究が、定性的観点からではあるが進められ、多くの成果を挙げてきた。さらに、そうした一般均衡理論を実際に数値計算に適用し、実証分析を行う、いわゆる応用一般均衡モデル(Computable General Equilibrium: CGE)による研究もなされている²⁾。

本研究は、こうしたCUE分析とCGE分析との統合化を図ることにより、両者のメリットを活かし、デメリットを補う分析手法の開発を試みる。

2. CGE分析とCUE分析の概要と統合化

CGEモデルは、元々、税制策や貿易政策の評価を行うために開発されたものであり、それが、1990年代に入り、

表-1 CGEモデルとCUEモデルの特徴比較

		応用一般均衡(CG E)モデル	応用都市経済(CUE)モデル
共通	概要	「産業の生産活動」と「家計の消費行動」からなる市場経済システムをモデル化	
	分析結果	<ul style="list-style-type: none"> ・環境改善効果の把握 ・市場経済に与える影響 	
	メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・一般均衡体系で閉じている ・市場メカニズムを通じて生じる政策の影響は、漏らすことなく把握可能 [不効果まで含め全ての影響を捉えられる] ・対象圏域での生産規模(GDP等)変化が把握可能 ・産業連関構造に基づく産業間の波及的影響が把握可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・交通のゾーン間移動量変化が把握可能 ・主体の活動分布への影響が把握可能 [立地誘導施策等も評価可能] ・主体の活動分布と交通の空間移動状況を同時に決定できる ・個人の現実行動に近いモデル化が可能
	デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・主体の活動の空間分布は把握できない ・交通を空間移動としては捉えていない 	<ul style="list-style-type: none"> ・政策が圏域での経済規模に与える影響は評価できない ・いくつかの価格を固定的に扱っており、政策の影響を全て完全に捉えきれない可能性がある

環境政策評価にも適用されるようになってきた。特に、筆者らは、自動車交通がもたらす外部不経済の削減政策の評価にCGEモデル³⁾を適用してきた。ここでは、政策の実施が、各主体の交通行動、企業の生産、家計の需要へ及ぼす影響を計測する。さらに、それらが市場メカニズムを通じて、他の企業や消費者に与える波及的影響も明らかとしてきた。しかし、それらの分析は日本全国が対象であり、都市交通施策を評価する上で重要な、空間的条件が考慮できていないという問題があった。

一方、CUEモデルは、従来、交通解析の分野で開発が進められてきた交通需要予測モデルをベースとし、それに居住者や企業の経済活動を整合的に導入したものである。特に、交通行動もミクロ経済学的行動モデルに基づき定式化したことにより、立地選択行動も含めた経済行動と交通行動との整合性が保たれている点に特徴がある。しかし、CUEモデルは、CGE分析との関係から言うと、一般均衡型ではなく、土地市場のみを扱った部分均衡型となるため、土地を除いた市場を介して及ぼされる影響が考慮できないという問題がある。なお、CGE分析とCUE分析の特徴の比較を、表-1にまとめて示した。

以上の点を踏まえ、CGEモデルとCUEモデルの長所を生かし、短所を補うために、それらの統合モデルを開発しようというのが本研究の目的である。

* キーワーズ：立地均衡，CGEモデル，都市交通施策評価

** 正会員 博(工) 大阪工業大学工学部都市デザイン工学科

(大阪市旭区大宮 5-16-1, TEL: 06-6954-4203,

FAX: 06-6957-2131, E-Mail: muto@civil.oit.ac.jp)

***学生員 大阪工業大学大学院工学研究科都市デザイン工学専攻

3. 立地均衡を考慮したCGEモデルの構造

(1) モデルの概要

本モデルは、複数のゾーンに分割された閉鎖的都市圏を対象とする。各ゾーンには、家計と企業(財を生産)が存在し、都市圏全体に不動産業と政府が存在する(図-1参照)。市場は、財市場と生産要素市場、土地市場を考慮することとし、そのうち財市場と生産要素市場は、都市圏全体で一つの市場を想定し、土地市場はゾーンごとに存在する市場を想定する。

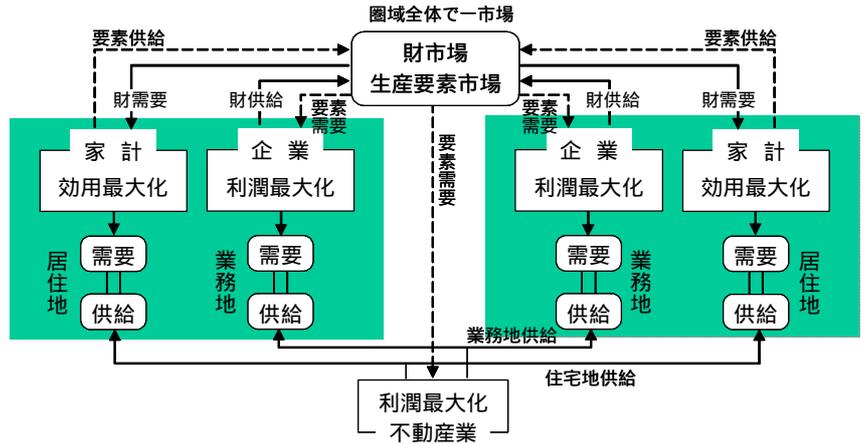


図-1 立地均衡を考慮したCGEモデルの市場構成(2ゾーンを例にして)

(2) 企業の行動モデル

企業は、第一次産業、第二次産業および第三次産業を不動産業、旅客運輸産業、貨物運輸産業とその他に分けて考慮した上で、各企業の行動モデルは従業者一人あたりで捉えて定式化する。なお、その定式化は、以下のようにCGEモデルと同様の枠組みでなされる。

【第二段階：生産要素投入行動】

まず、生産要素投入量の決定にあたっては、合成生産要素関数に係わる生産技術制約の下で、生産要素費用を最小化するように行動するものとする。

$$fc_j^m = \min_{l_j^m, k_j^m, a_j^m} [w \cdot l_j^m + r \cdot k_j^m + h_j \cdot a_j^m] \quad (1a)$$

$$\text{s.t. } pc_j^m = \eta_j^m \{l_j^m\}^{\alpha_l^m} \{k_j^m\}^{\alpha_k^m} \{a_j^m\}^{\alpha_a^m} = 1 \quad (1b)$$

ただし、 j ：ゾーンを表す添字、 m ：企業を表す添字、 l_j^m ：労働投入量、 k_j^m ：資本投入量、 a_j^m ：土地投入量、 w ：賃金率、 r ：利子率、 h_j ：業務地地代、 pc_j^m ：合成生産要素関数(生産規模を決定するという意味で生産容量とも呼ぶ)、 η_j^m ：生産効率パラメータ、 $\alpha_l^m, \alpha_k^m, \alpha_a^m$ ：分配パラメータ[$\alpha_l^m + \alpha_k^m + \alpha_a^m = 1$]、 fc_j^m ：生産要素費用。

式(1b)は、企業の生産技術制約を示しているが、これを $pc_j^m = 1$ として式(1)を解くことにより、単位生産容量に対する生産要素需要量 $D_{Lj}^m, D_{Kj}^m, D_{Aj}^m$ (単位生産容量あたりの労働需要量、資本需要量、土地需要量)が求められる。また、生産要素費用関数は、以下より求められる。

$$fc_j^m = w \cdot D_{Lj}^m + r \cdot D_{Kj}^m + h_j \cdot D_{Aj}^m \quad (2)$$

【第一段階：中間投入財、合成生産要素投入行動】

続いて、中間投入財、合成生産要素投入行動では、レオンチェフ型生産技術制約下で、生産費用を最小化するよう

に行動するものとする。

$$tc_j^m = \min_{pc_j^m, z_j^{mm'}} \left[fc_j^m pc_j^m + w \sum_i (t_{ji} Pr_{ji}^{TP}) z_j^{mTP} + \sum_{m'} p_{m'} z_j^{mm'} \right] \quad (3a)$$

$$\text{s.t. } y_j^m = \min \left[\frac{pc_j^m}{a_m^0}, \dots, \frac{z_j^{mm'}}{a_m^{m'}}, \dots, \frac{z_j^{mTP}}{a_m^{TP}} \right] \quad (3b)$$

ただし、 z_j^{mTP} ：旅客運輸サービスの中間投入量(産業の業務トリップ消費と解釈できる)、 $z_j^{m-m'}$ ： m' 財の中間投入量、 t_{ji} ： $j-i$ ゾーン間の所要時間、 Pr_{ji}^{TP} ：目的地選択確率、 $p_{m'}$ ： m' 財価格、 y_j^m ：生産量、 a_m^0 ：生産容量比率、 $a_m^{m'}, a_m^{TP}$ ：中間投入係数、 tc_j^m ：生産費用関数。

式(3)を解いた上で、生産費用を求めると以下となる。

$$tc_j^m = \left\{ fc_j^m a_m^0 + w \sum_i \{t_{ji} Pr_{ji}^T\} a_m^T + \sum_{m'} p_{m'} a_m^{m'} \right\} y_j^m \quad (4)$$

$$= \left\{ gc_j^m a_m^0 + \sum_{m'} p_{m'} a_m^{m'} \right\} y_j^m$$

ただし、 $gc_j^m = fc_j^m + w \frac{a_m^T}{a_m^0} \sum_i \{t_{ji} Pr_{ji}^T\}$ 。なお、 gc_j^m を粗生産要素費用と呼ぶこととする。

こうして、生産費用が求められれば、それより利潤を求めることが可能となる。

$$\pi_j^m = p_m y_j^m - tc_j^m = \left[p_m - \left\{ gc_j^m a_m^0 + \sum_{m'} p_{m'} a_m^{m'} \right\} \right] y_j^m \quad (5)$$

ただし、 π_j^m ：従業者一人あたりの利潤。

式(5)より、 gc_j^m はゾーンごとに決定され、一方財価格は全地域一定とすることで、ゾーンごとの利潤が発生することがわかる。このゾーン利潤をもとに、業務地の選択行動モデルを定式化する。これは、期待利潤を説明変数とする業務地選択に対する企業の効用関数をCES型で定義し、そ

の最大化問題として定式化した。なお、土地依存型産業（第一次、第二次産業）は、期待利潤のみを説明変数とし、また、その他の産業は、オフィス系企業であると考え、期待利潤に加え当該ゾーンの従業者数も説明変数とした。これは、いわゆるオフィス系企業がFace to Face コミュニケーションによって生産性が向上するであろう点を考慮したものである⁴⁾。以上の結果、各企業の業務地選択確率が以下のように求められる。

$$\text{土地依存型産業： } P_i^{Fm} = \frac{\xi_i^F \{\pi_i^m\}^{\sigma_S^F - 1}}{\sum_j \xi_j^F \{\pi_j^m\}^{\sigma_S^F - 1}} \quad (6a)$$

オフィス系企業：

$$P_i^{Om} = \frac{\xi_i^O \{\pi_i^m + \theta_i^m E_i^m\}^{\sigma_S^O - 1}}{\sum_i \xi_i^O \{\pi_i^m + \theta_i^m E_i^m\}^{\sigma_S^O - 1}} \quad (6b)$$

ただし、 P_i^{Fm}, P_i^{Om} ：業務地選択確率、 ξ_i^m, θ_i^m ：パラメータ、 σ_S^F, σ_S^O ：代替弾力性パラメータ。

(3) 不動産産業の行動モデル

本モデルでは、土地の売買を直接は取り扱わない。その代わりに、不動産業が提供する土地サービスにおいて、各ゾーンの土地供給面積を考慮することにより、土地に係わる供給制約が反映されるような構造としている。

具体的には、不動産業は、中間投入財および生産要素を投入し、ゾーンごとの供給面積に依存して、土地サービスを提供する。単位土地面積あたりの土地サービス価格をここでは地代と考える。こうして従業者一人あたりの不動産業収入を求めた後、それに各ゾーンの従業者数を乗じ、全ゾーンの総和をとって総不動産収入を求めたものが以下である。

$$Y^A = \sum_j [h_j^F A_{Sj}^F + h_j^H A_{Sj}^H] \quad (7)$$

ただし、 Y^A ：不動産業の総収入額、 h_j^F, h_j^H ：それぞれ業務地代および住宅地代、 A_{Sj}^F, A_{Sj}^H ：それぞれ業務用土地供給面積および住宅用土地供給面積。

以上の収入を、不動産業は中間投入財と生産要素および運輸消費時間費用に分配する。このうち、中間投入財、生産要素への分配率は、それぞれ中間投入係数および生産容量比率に基づくものとする。これより、不動産業の中間財投入量と生産要素費用が以下のように求められる。

$$x_m^A = \frac{a_m^A Y^A}{P_m} \quad (8a)$$

$$pc_j^A = a_0^A y_j^A \quad (8b)$$

ただし、 y_j^A ：従業者一人あたりでみた不動産業の収入（ $= Y^A / E_j^A$ ）、 E_j^A ：不動産業の従業人口。

また、旅客運輸時間投入量は、旅客運輸サービスへの中間投入係数を用いて以下のように求められる。

$$T_j^A = a_A^{TP} y_j^A E_j^A \sum_i t_{ji} \text{Pr}_{ji}^{TP} \quad (9)$$

次に、式(8b)にて得られた、ゾーン別生産要素費用から、各生産要素の投入量が得られる。

$$L_j^A = \frac{D_{Lj}^A}{wD_{Lj}^A + rD_{Kj}^A + hD_{Aj}^A} fc_j^A \cdot E_j^A \quad (10a)$$

$$K_j^A = \frac{D_{Kj}^A}{wD_{Lj}^A + rD_{Kj}^A + hD_{Aj}^A} fc_j^A \cdot E_j^A \quad (10b)$$

$$A_j^A = \frac{D_{Aj}^A}{wD_{Lj}^A + rD_{Kj}^A + hD_{Aj}^A} fc_j^A \cdot E_j^A \quad (10c)$$

なお、式(10)における、単位生産容量あたりの生産要素投入量は、他の産業と同様、生産要素費用最小化行動から求められる。具体的には、式(1)で求めたものと同じ形である。

(4) 家計の行動モデル

家計も、一人あたりの家計で捉え、ゾーン属性も考慮する。ただし、その行動モデルの枠組みは、CGEモデルと同様とする。今回は、効用水準の導出に係わる第一段階について説明する。

【第一段階】

第一段階では、当該期消費量と貯蓄とを決定する。このとき所得から通勤トリップ交通費用を差し引いた可処分所得を消費に当てるものとする。これは、以下のようにCES型効用関数を用いて定式化した。

$$V_i^H = \max_{x_i^H, x_i^C} \left[\beta_H^{\frac{1}{\sigma_1}} \{x_i^H\}^{\nu_1} + (1 - \beta_H)^{\frac{1}{\sigma_1}} \{x_i^C\}^{\nu_1} \right]^{\frac{1}{\nu_1}} \quad (11a)$$

$$\text{s.t. } p_H x_i^H + p_C x_i^C = w[\Omega - \delta t_{ij}] + rk_S (\equiv M_1) \quad (11b)$$

ただし、 x_i^H, x_i^C ：それぞれ当該期消費および貯蓄、 p_H, p_C ：それぞれ当該期消費価格および貯蓄価格、 Ω, k_S ：一家計あたり総利用可能時間、資本ストック保有量、 β_H ：分配パラメータ、 σ_1 ：代替弾力性パラメータ、 $\nu_1 = \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma_1}$ 、 V_i^H ：効用水準、 δ ：

家計一人あたり平均通勤トリップ数。

式(11)を解くと x_i^H, x_i^C が以下のように求められる。

$$x_i^H = \frac{\beta_H M_1}{p_H^{\sigma_1} \Delta_1}, \quad x_i^C = \frac{(1 - \beta_H) M_1}{p_C^{\sigma_1} \Delta_1} \quad (12)$$

ただし、 $\Delta_1 = \beta_H p_H^{(1-\sigma_1)} + (1 - \beta_H) p_C^{(1-\sigma_1)}$ 。

式(12)を式(11)に代入すると効用水準は以下のようになる。

$$V_i^H = M_1 \cdot \Delta_1^{\frac{1}{\sigma_1 - 1}} \quad (13)$$

【立地選択行動】

家計の立地選択行動モデルの定式化も、業務地選択行動モデルと同様に行う。すなわち、期待効用を説明変数とする住宅地選択に対する効用関数をCES型で定義し、その最大化問題として定式化した式を解くと、住宅地選択確率が以下のように得られる。

$$P_j^H = \frac{\xi_j^H \{V_j^H\}^{\sigma_s^H - 1}}{\sum_i \xi_i^H \{V_i^H\}^{\sigma_s^H - 1}} \quad (14)$$

(6) 交通行動モデル

交通行動モデルについては、家計、企業とも各ゾーンの立地量が増加することに伴う交通発生量の変化を内生的に考慮することができる。すなわち、家計の通勤トリップ、自由トリップおよび企業の業務トリップのゾーン別発生量は以下のように求められる。

$$\text{通勤トリップ: } X_j^{HC} = N_j^H \cdot \delta \quad (15a)$$

$$\text{自由トリップ: } X_j^{HP} = N_j^H \cdot z_j^{HP} \quad (15b)$$

$$\text{業務トリップ(旅客): } X_j^{FP} = E_j^m \cdot z_j^{mTP} \quad (16a)$$

$$\text{業務トリップ(貨物): } X_j^{FF} = E_j^m \cdot z_j^{mTF} \quad (16b)$$

ただし、 $X_j^{HC}, X_j^{HP}, X_j^{FP}, X_j^{FF}$: ゾーン別発生トリップ数、 N_j^H, E_j^m : 総従業員人口数、 $\delta, z_j^{HP}, z_j^{mTP}, z_j^{mTF}$: 一人あたりトリップ消費量。

式(15)と(16)より得られるゾーン別の発生トリップに対し、目的地選択、交通機関選択および経路選択の各行動モデルを考える。なお、それらについても、各主体の立地選択行動モデルと同様にCESシェア関数に基づき、選択確率を求めることとした。

(6) 市場均衡条件と立地均衡条件

a) 財市場の均衡条件

m 財の市場均衡条件は、以下のように表される。

$$\sum_{m'} a_m^{m'} Y^{m'} + x_m^A + x_m^H + x_m^G + x_m^I = Y^m \quad (17)$$

b) 生産要素市場の均衡条件

労働、資本および土地の各市場均衡条件式は以下のとおりである。

$$\sum_j \sum_m \{L_j^m + T_j^m\} = \sum_j N_j \left\{ \Omega - x_j^S - \sum_i (\delta t_{ji} + x_j^T t_{ji}) \right\} \quad (18a)$$

$$\sum_j \sum_m K_j^m = \sum_j N_j k_s \quad (18b)$$

$$\sum_m A_j^m = A_{S_j}^F \quad (18c)$$

$$N_j x_j^A = A_{S_j}^H \quad (18d)$$

ただし、 L_j^m, K_j^m, A_j^m : それぞれ総生産要素投入量である。

c) 立地均衡条件

業務地選択確率は式(6)にて表される。よって、業務地に係る立地均衡条件は以下となる。

$$ET^m = \sum_j E_j^m \quad (19)$$

ただし、 $E_j^F = P_j^{Fm} \cdot ET^F, E_j^O = P_j^{Om} \cdot ET^O$ 。

また、住宅地選択確率は式(14)である。よって、住宅地に係る立地均衡条件は以下となる。

$$NT = \sum_j N_j \quad (20)$$

ただし、 $N_j = P_j^H \cdot NT$ 。

5. おわりに

本研究では、都市交通施策あるいは都市環境政策を社会経済に与える影響も含めて評価するため、立地均衡を考慮したCGEモデルを構築した。本モデルの特徴は、政策が市場を介してもたらず影響をもれなく計測できることに加え、立地分析に基づき政策が活動主体の立地分布をどう変化させるのという影響も同時に明らかとできる点にある。ここでは、企業の行動について詳しく述べた。しかし、現時点では、数値計算にあたってのデータ整備、特に交通に係わるデータが不十分な面がある。今後は、その点を考慮した上で、数値計算による実証分析を行う予定である。

本研究は、科学研究費補助金・若手研究(B)(課題番号: 16760435)における研究成果の一部であり、この場を借りて関係各位に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 上田孝行(1995): 交通・立地分析モデルによる都市交通プロジェクトの影響分析, 日交研シリーズ A-184, 日本交通政策研究会。
- 2) 小池淳司, 石川良文, 上田孝行, 河野貢(2003): 都市圏レベルの応用一般均衡モデルの開発と応用, 土木計画研究・論文集, Vol.20, No.1, pp.79-85。
- 3) Muto, S., Morisugi, H. and Ueda T. (2003): Measuring Market Damage of Automobile Related Carbon Tax by Dynamic Computable General Equilibrium model, ERSR, the 43rd European Congress, CD-ROM, No. 257.
- 4) 佐々木公明, 文世一(2000): 都市経済学の基礎, 有斐閣アルマ。