

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*

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。そこでは，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があることが指摘されていた。さらに，上田らにより，土地利用モデルにおいて，ミクロ経済学

の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。

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，

* キーワーズ：立地均衡，CGEモデル，都市環境施策評価

** 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

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モデルを適用してきた。そこでは，政策の実施が，各主体の交通行動，企業の生産，家計の需要への影響を計測する。そして，それらが市場メカニズムを通じて，他の企業や消費者にどのような波及的影響を与えるのか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，都市環境施策を評価する上で重要な，空間的情報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統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。

2. 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。

(2) 企業の行動モデル

ここでは、企業の行動モデルを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 ：企業が生産する財を表す添字、 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 $D_{L_j}^m, D_{K_j}^m, D_{A_j}^m$ (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。

$$fc_j^m = w \cdot D_{L_j}^m + r \cdot D_{K_j}^m + h_j \cdot D_{A_j}^m \quad (2)$$

【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。

$$tc_j^m = \min_{pc_j^m, z_j^{m-m'}} \left[fc_j^m \cdot pc_j^m + \sum_i (wt_{ji} \Pr_{ji}^T z_j^{m-T}) + \sum_{m'} p_{m'} z_j^{m-m'} \right] \quad (3a)$$

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

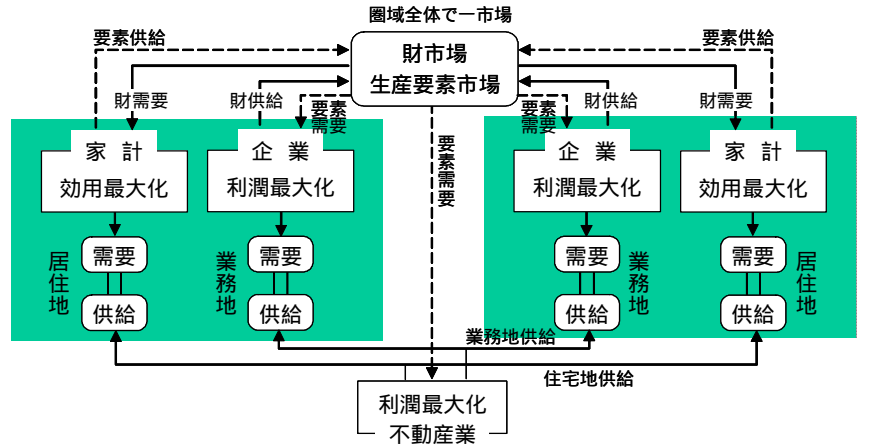


図-1 立地均衡を考慮したCGEモデルの市場構成(2ゾーンを例にして)

ただし、 z_j^{m-T} ：運輸サービスの中間投入量(企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} ：ゾーン $j-i$ 間の交通所要時間、 \Pr_{ji}^T ：業務トリップの目的地選択確率、 $p_{m'}$ ： m' 財価格、 y_j^m ：生産量、 a_m^0 ：生産容量比率、 $a_m^{m'}, a_m^T$ ：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。このゾーン利潤を基に、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。その結果、業務地選択確率が以下のように求められる。

$$P_i^{Fm} = \frac{\xi_i^F \{\pi_i^m\}^{\sigma_i^F - 1}}{\sum_j \xi_j^F \{\pi_j^m\}^{\sigma_j^F - 1}} \quad (6)$$

(3) 家計の行動モデル

家計も、一家計あたりで捉え、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。

【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。

$$V_i^H = \max_{x_i^H, x_i^C} \left[\beta_H^{\frac{1}{\sigma_1}} \{x_i^H\}^{\nu_1} + (1 - \beta_H)^{\frac{1}{\sigma_1}} \{x_i^C\}^{\nu_1} \right]^{\frac{1}{\nu_1}} \quad (7a)$$

$$\text{s.t. } p_H x_i^H + p_C x_i^C = w[\Omega - \delta t_{ij}] + r k_s (\equiv M_1) \quad (7b)$$

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。

式(7)を解くと x_i^H, x_i^C が以下のように求められる。

$$x_i^H = \frac{\beta_H M^1}{p_H^{\sigma_1} \Delta_1}, \quad x_i^C = \frac{(1 - \beta_H) M^1}{p_C^{\sigma_1} \Delta_1} \quad (8)$$

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

さらに、効用水準は以下ようになる。

$$V_i^H = M_1 \cdot \Delta_1^{\frac{1}{\sigma_1 - 1}} \quad (9)$$

【第二段階】

第二段階では、当該期消費について、合成財消費量、余暇消費量、総旅客運輸消費量を決定する。これも、以下のようにCES型効用関数を用いて定式化した。

$$x_i^H = \max_{x_i^Z, x_i^S, x_i^T} \left[\beta_Z^{\frac{1}{\sigma_2}} \{x_i^Z\}^{\nu_2} + \beta_S^{\frac{1}{\sigma_2}} \{x_i^S\}^{\nu_2} + \beta_T^{\frac{1}{\sigma_2}} \{x_i^T\}^{\nu_2} \right]^{\frac{1}{\nu_2}} \quad (10a)$$

$$\text{s.t. } p_Z x_i^Z + w x_i^S + q_{Ti} x_i^T = M_1 - p_C^* x_i^C (\equiv M_1) \quad (10b)$$

ただし、 x_i^Z, x_i^S, x_i^T ：それぞれ合成財、余暇、総旅客運輸の消費量、 p_Z ：合成財価格、 q_{Ti} ：総旅客運輸一般化価格（ $= p_T + w \left\{ \sum_j \text{Pr}_{ij}^{HT} t_{ij} \right\}$ ）、 $\beta_Z^2, \beta_S^2, \beta_T^2$ ：分配パラメータ、

σ_2 ：代替弾力性パラメータ、 $\nu_2 = \frac{\sigma_2 - 1}{\sigma_2}$ 。

式(10)を解くと x_i^Z, x_i^S, x_i^T が以下のように求められる。

$$x_i^Z = \frac{\beta_Z^2 M^2}{p_Z^{\sigma_2} \Delta_2}, \quad x_i^S = \frac{\beta_S^2 M^2}{w^{\sigma_2} \Delta_2}, \quad x_i^T = \frac{\beta_T^2 M^2}{q_{Ti}^{\sigma_2} \Delta_2} \quad (11)$$

ただし、 $\Delta_2 = \beta_Z^2 p_Z^{(1 - \sigma_2)} + \beta_S^2 w^{(1 - \sigma_2)} + \beta_T^2 q_{Ti}^{(1 - \sigma_2)}$ 。

【第三段階】

第三段階では、合成財消費について、産業別財消費量を決定する。これは、以下のようにコブダグラス型効用関数

を用いて定式化した。

$$x_i^Z = \max_{x_i^m} \prod_m \{x_i^m\}^{\beta_m^3} \quad (12a)$$

$$\text{s.t. } \sum_m p_m x_i^m = M^2 - p_Z^* x_i^Z - q_T^* x_i^T (\equiv M^3) \quad (12b)$$

ただし、 x_i^m ： m 財消費量、 p_m ： m 財価格、 β_m^3 ：分配パラメータ。

式(14)を解くと x_i^m が以下のように求められる。

$$x_i^m = \frac{\beta_m^3 M^2}{p_m} \quad (13)$$

【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。

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

(3) 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。

$$\sum_{m'} a_m^{m'} Y^{m'} + x_m^A + x_m^H + x_m^G + x_m^J = Y^m \quad (15)$$

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。

$$\sum_j \sum_m \{L_j^m + T_j^m\} = \sum_j N_j \left\{ \Omega - x_j^S - \sum_i (\delta t_{ji} + x_j^T t_{ji}) \right\} \quad (16a)$$

$$\sum_j \sum_m K_j^m = \sum_j N_j k_s \quad (16b)$$

$$\sum_m A_j^m = A S_j^F \quad (16c)$$

$$N_j x_j^A = A S_j^H \quad (16d)$$

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、業務地に係わる立地均衡条件は以下となる。

$$E T^m = \sum_j E_j^m \quad (17)$$

ただし、 $E_j = E T \cdot P_j^{Fm}$ 。

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

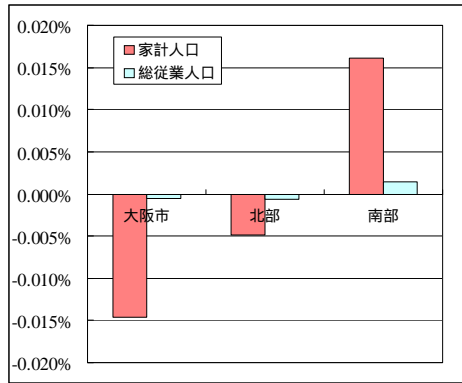


図-2(a) 交通整備に伴う人口変化

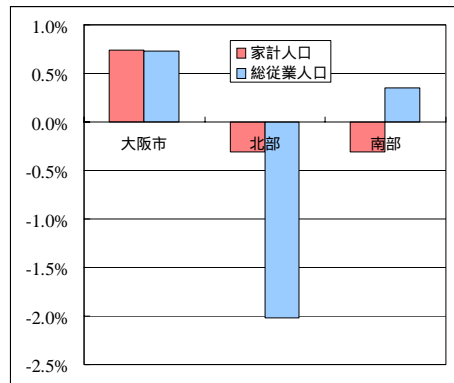


図-3(a) 立地規制に伴う人口変化

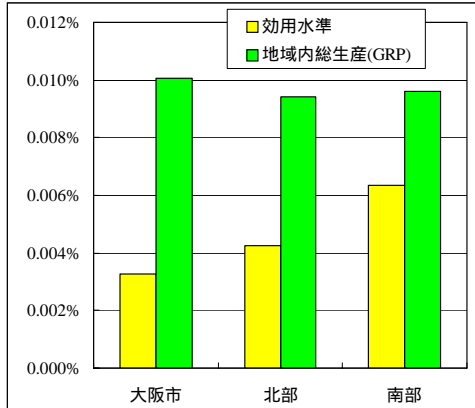


図-2(b) 交通整備に伴う効用水準, GRP変化

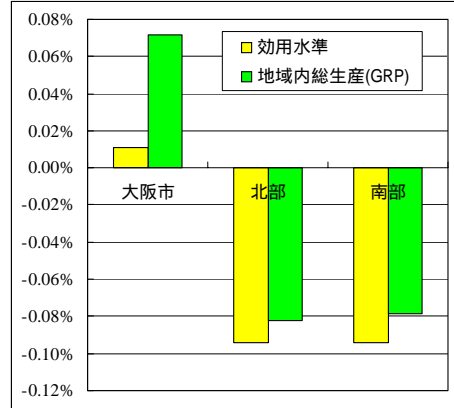


図-3(b) 立地規制に伴う効用水準, GRP変化

$$NT = \sum_i N_i \quad (19)$$

ただし, $N_i = NT \cdot P_j^H$.

3. 数値計算結果

ここでは、大阪府を、大阪市、北部、南部の3ゾーンに分割した地域を対象に、前章で構築したCGEモデルの適用を行う。ここでは、市と北部、南部のそれぞれの交通所要時間を10%削減した施策と、それに加え、郊外化抑制のため郊外地域の土地供給面積を10%抑制する立地規制策を取り上げる。それらの、人口変化率と効用水準、地域内総生産GRPの変化率の結果を、図-2および図-3に示す。

この結果を見ると、まず交通整備によっては、南部地域への人口郊外化が認められる。一方、立地規制によっては、家計は郊外部から市部への人口移動が認められるが、従業人口は、南部は逆に増加している。これは、交通整備の影響が強かったためと考えられる。

一方、効用水準、GRPの結果からは、交通整備によっては、効用、GRPともに上昇している。一方、立地規制は、大阪市のみ上昇し、その他地域は低下している。いずれも、数値の正負については、妥当な結果であると考えられる。

4. 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の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、簡単な数値計算例を示したが、結局モデルの挙動を確認するにとどまっている。今後は、ゾーン分割を詳細するとともに、データ整備を行った上で、現実的な政策に対し本モデルの適用を行う予定である。

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) Muto, S., Morisugi, H. and Ueda T. (2003): Measuring Market Damage of Automobile Related Carbon Tax by Dynamic Computable General Equilibrium model, ERSA, the 43rd European Congress, CD-ROM, No. 257.
- 3) 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.