

都市交通における環境施策評価のためのCGE・CUE統合モデルの開発*

Constructing the Combined Model of CGE and CUE for Evaluation of Environmental Project on Urban Transport *

武藤慎一^{*1}

By Shinichi MUTO^{*1}

1. はじめに

環境問題に対する施策の議論が進む中、依然として環境汚染物質の排出が増加傾向にある交通部門での早急な対応が重要であると考えられる。交通部門の中でも、自動車交通に起因する環境問題は、ますます深刻化しているが、自動車が利便性の高い交通であるが故に、その対策は非常に困難なものとなっている。特に、自動車交通は、わが国において高度経済成長を達成する上で非常に重要な役割を果たしてきた。ここ数年は、経済成長が停滞しているものの、依然として輸送部門は自動車に頼っている。これに対し、自動車交通部門に環境対策として大きな負担を強いることは、ますますの経済の悪化につながるのではないかと懸念がある。

これに対し、筆者らは、自動車利用を明示的に導入した経済モデルを用いて、経済成長を阻害することなく交通部門に起因する環境問題を解消するための方策について数値シミュレーションによる分析・評価を行ってきた。その取り組みは、大きく二つの方向に分けられる。一つは、応用一般均衡(CG E: Computable General Equilibrium)モデルを用いた分析であり、もう一つは、応用都市経済(CUE: Computable Urban Economic)モデルを用いた分析である。

CGEモデルとは、産業の生産活動と家計の消費活動からなる経済システムのモデル化を図ったものであり、各種政策が市場経済を通じてどのような影響を生じさせるのかが把握できる。我々は、さらにCGEモデルの動学化も行った上で、自動車交通関連の炭素税政策の影響評価を行い、当該政策が経済成

長に与える影響についても明らかとしている。一方、CUEモデルは、交通が物や人の空間的移動であることから、交通現象をより正確に表現するために、主体の活動拠点の空間的分布の決定と、その結果生じる交通現象とを同時に分析できるモデルとなっている。我々は、CUEモデルを用いて、環境改善のための土地利用規制や業務核都市形成施策の評価を行っている。

CGEモデルとCUEモデルは、それぞれ一長一短を有する。まず、CGEモデルは、環境政策がマクロ経済に与える影響を把握するには有効であるが、それらが主体の活動の空間的分布や空間移動として見た交通現象へ与える影響という点では十分に対応できていない。一方、CUEモデルは、主体の活動分布、物や人の空間移動というミクロ的な現象を捉えることには有効であるが、環境政策のマクロ的影響、特に経済成長への影響という点では十分な把握ができていなかった。本研究は、CGEとCUEとの統合化を図ることにより、環境政策が、主体の活動分布に与える影響というミクロ的な分析に加え、経済成長へ与える影響というマクロ的な分析も同時に行えるモデルの構築を行うことを目的とする。このような試みは、政策のマクロ的影響とミクロ的影響とを同時に評価できるというメリットだけではなく、本来は経済成長と主体の活動分布とは密接なつながりがあるという、実態に即した評価が可能になるというメリットもある。

2. CGE・CUE統合モデルの構築

(1) 統合モデルの概要

本研究では、1個に分割されたゾーンからなる都市圏を対象とする。各ゾーンには、家計、建物開発者、不在地主が存在する。また、企業は都市圏全体で集計化された代表的主体を想定する。ただし、財別に存在するものとする。市場は、財、労働、資本、

* キーワーズ：都市環境施策評価，経済成長，CGE・CUE統合モデル，

*1 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)

建物資本，土地市場が存在する．財，労働，資本は都市圏全体で唯一の閉じた市場を有する．建物資本，土地はゾーンごとに閉じた市場を有する(図-1)．

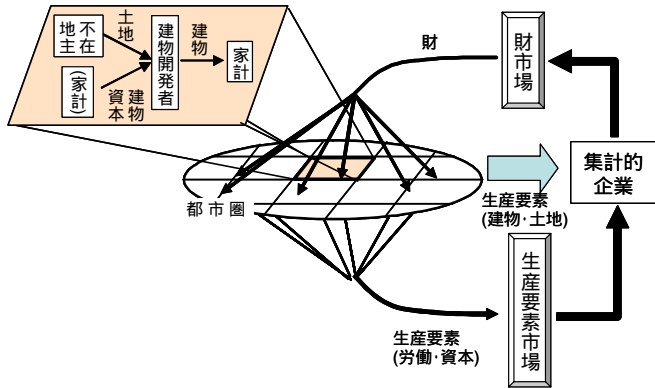


図-1 モデルの全体構造

(2) 企業の行動モデル

都市圏全体で集計的に扱われる企業 m (m は財を表す)の行動は，基本的にはCGEモデルの枠組みで定式化される．すなわち，第一段階で，中間投入財と合成生産要素の投入量を決定し，第二段階で，各生産要素投入量を決定する(図-2)．ただし，既往のCGEモデルでは，生産要素が労働と資本のみであったことに對し，ここでは，企業の生産に必要な建物資本と土地を，資本から分けて明示的に扱うこととした．なお，この建物資本と土地はゾーン属性に強く依存すると考えられるため，これらはゾーン別の市場において取引されるものとする．他の生産要素である労働，資本は，都市圏全体の市場において取引されるものとする．

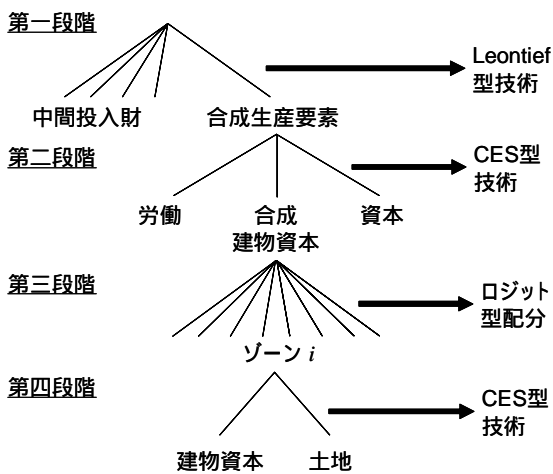


図-2 企業の行動モデル

以上を踏まえると，建物資本と土地投入のゾーン別投入量を決定する必要がある．そこで，図-2のように，まず第二段階で，労働と資本，建物サービス

の投入量を決め，建物サービスについて，第三段階でゾーン別投入確率を決めるものと考えた．なお，その投入確率の推計には，ロジットモデルを用いる．そして，ゾーン別建物サービス投入量に応じて，ゾーンごとの建物資本と土地投入量を決定する．

ゾーン別建物サービス投入量を決定する際用いたロジットモデルを用いて，従業員人口分布も求めることとする．都市圏全体での従業員人口数は，別途推計を行うものとし，外生的に扱う．

以上の定式化から生産される財は，都市圏経済へ供給されるものとする．すなわち，各財は，都市圏において唯一の閉じた市場を有する．なお，生産要素の中で，労働と資本は，都市圏全体での市場にて取引され，建物資本と土地はゾーンごとに市場が存在し，そこで取引されるものとする．

(3) 建物開発者(住宅系)の行動モデル

各主体の建物投入について，企業が投入する建物は2.(2)で定式化したとおりである．そこで，家計の建物消費について考える．この住宅系建物は，建物開発者によって提供されるものとする．

住宅系建物開発者の行動は，基本的に企業と同様とする．ただし，中間投入財の投入は考えず，また，生産要素のうち労働，資本投入部は同じとするが，建物資本，土地投入部は，家計が居住用に使用するもの考えることとする．なお，定式化では，この居住用建物資本と土地および労働，資本からなる生産要素を投入して，居住用建物サービスを生産し，それを家計に提供するものとした．ここでは，建物開発者が直接，各ゾーンに存在する建物資本と土地を投入し，家計に居住用建物サービスを提供するものとする．すなわち，居住用建物資本と土地は当然のことながら，居住用建物サービスも各ゾーンの市場にて取引されるものとする．

(4) 家計の行動モデル

a) 行動モデルの全体構造

家計は，労働，資本，建物資本(業務，居住両方)を市場に提供して所得を得る．なお，労働，資本は，都市圏での市場に，建物資本は各ゾーンでの市場に提供される．また，各資本の保有量は，全員均等とする．また，不在地主から，地代の収入配当ももら

うものとする。これは、ゾーンごとに、一人あたり配当額が等しくなるように決めるものとする。

以上の所得に基づき、まず消費と貯蓄とを決定する。これは、CGEモデルと同様に定式化される。すなわち、貯蓄は、近視眼的仮定の下、次期の収益と貯蓄に伴う損失とのバランスを保つよう決定される。一方、各財の消費は、基本的には都市圏経済から購入されるとする。すなわち、財も都市圏全体で唯一の閉じた市場を有する。

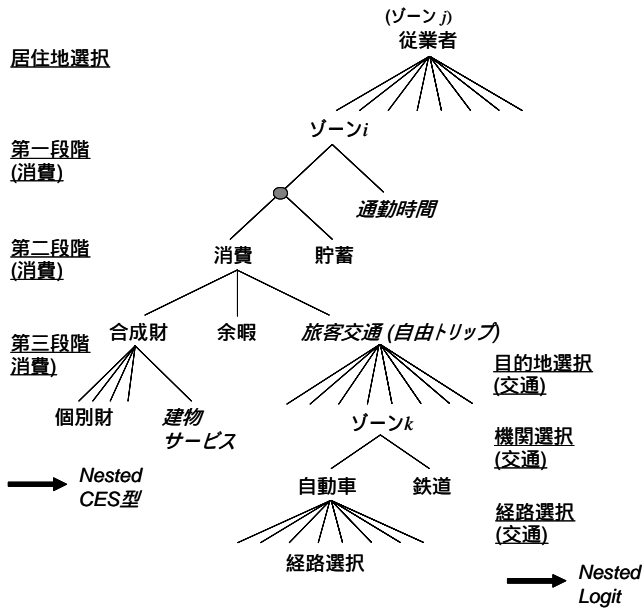


図-3 家計の行動モデル

b) 建物サービス、交通消費行動モデル

家計は、土地属性と密接に関連する財として、建物と交通を消費する。

建物消費は、先に示した建物開発者の行動モデルによって導出される建物サービスの消費として考慮する。一方、交通消費は、通勤トリップと自由トリップとに分けられる。これらは基本的にはCUEでのモデル化を踏襲する。

通勤トリップは、家計が時間的負担のみを負うものとする。費用は企業によって負担される。なお、通勤トリップのOD分布は、赤松・半田()による定式化を導入する。すなわち、まず次節で説明する企業の立地分布から、ゾーンごとの従業者人口を導出する。そして、彼らにどのゾーンを勤務地への出発地として選択するのかを決定させる。実は、この選択が居住地選択となるのであるが、これより従業者ごとに居住地と勤務地とがユニークに決定するため、都市圏全体で通勤OD表を確定することができる。

自由トリップは、CUEモデルと同じ枠組みで定式化する。すなわち、家計の効用関数に交通需要を組み込み、それより自由トリップの発生量を求める。次に、ロジットモデルを用いて分布、機関分担を決定するネスティッド型モデルにより交通行動がモデル化される。なお、図-3では、自由トリップに対し、機関分担、配分がなされるように描かれているが、図示の都合によるものであり、当然通勤トリップも機関分担、配分分析の対象となる。

d) 立地選択モデル

立地選択モデルは、基本的にはCUEモデルと同様に、a)の家計行動モデルから得られる効用水準を指標として、ロジットモデルを用いて立地選択確率を導出する。ただし、各ゾーンの立地量の決定においては、企業の立地行動から決定するゾーン別従業者人口を乗じて求めることとする。これは、各々の従業者が、通勤の出発地として居住地を選択するという考えに基づくものである。

(5) 不在地主の行動モデル

不在地主は、供給可能面積を全て提供するものとする。なお、土地供給から得られた地代収入は、ゾーンごとに家計に均等配分されるとする。

(6) 家計の投資行動モデル

家計は、貯蓄を投資に回すとする。なお、ここでは資本として、(民間)資本、建物資本を考えており、建物資本はゾーンごとに存在するものとしている。そこで、どのゾーンの建物資本へ投資するのかについてまで、家計の投資行動として決定するものとする。なお、これらはNested Logitモデルにより定式化し、その確定効用には、利子率およびゾーン別建物地代を用いる。

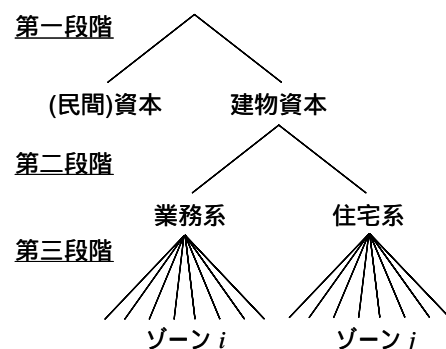


図-4 投資行動モデル

企業行動モデルの定式化

第一段階

$$C_m = \min_{P_{C_m}, z_m^m} c_m \cdot PC_m + \sum_{m'} p_{m'} z_m^{m'}$$

$$\text{s.t. } y_m = \min \left[\frac{PC_m}{a_m^0}, \dots, \frac{x_m^{m'}}{a_m^{m'}}, \dots \right]$$

c_m, PC_m : 合成生産要素価格, 投入量
 $p_{m'}, z_m^{m'}$: 財価格, 中間財投入量, y_m : 生産量,
 a_m^0 : 生産容量比率, $a_m^{m'}$: 中間投入係数,
 C_m : 生産費用

第二段階

$$c_m = \min_{z_{L_m}, z_{K_m}, z_{F_m}} p_L z_{L_m} + p_K z_{K_m} + p_F z_{F_m}$$

$$\text{s.t. } PC_m = \eta_m z_{L_m}^{\alpha_m^L} z_{K_m}^{\alpha_m^K} z_{H_m}^{\alpha_m^A} = 1$$

p_L, z_{L_m} : 賃金率, 労働投入量,
 p_K, z_{K_m} : 利子率, 資本投入量,
 p_F, z_{F_m} : 建物サービス価格, 投入量,
 $\eta_m, \alpha_m^L, \alpha_m^K, \alpha_m^A$: パラメータ

第三段階

$$p_F = \min_{P_i^{mF}} \left[\sum_i P_i^{mF} P_i^F - \frac{1}{\theta^F} \sum_i P_i^{mF} \ln P_i^{mF} \right]$$

$$\text{s.t. } \sum_i P_i^{FL} = 1$$

P_i^F, P_i^{mF} : ゾーン別建物サービス価格, 投入確率,
 θ^F : ロジットパラメータ

第四段階

$$p_i^F = \min_{z_{H_i}^m, z_{A_i}^m} p_{H_i}^F z_{H_i}^m + p_{A_i}^F z_{A_i}^m$$

$$\text{s.t. } z_{H_i}^m = \eta_m^H \left[\alpha_m^F z_{F_i}^{m-\rho_m} + \alpha_m^A z_{A_i}^{m-\rho_m} \right]^{-\frac{1}{\rho_m}}$$

$p_{H_i}^F, z_{H_i}^m$: ゾーン別建物地代, 建物資本投入量,
 $p_{A_i}^F, z_{A_i}^m$: ゾーン別地代, 土地投入量,
 $\eta_m^H, \alpha_m^F, \alpha_m^A, \rho_m$: パラメータ

市場均衡条件

財市場 $y = [I - A]^{-1} x$

労働市場 $\sum_m z_{L_m} = \sum_j N_j \cdot L_S$

ただし $L_{S_j} = \Omega - x_{S_{ij}} - \sum_d \sum_k \sum_r t_{d,k,r} \cdot x_{d,k,r}^T$

資本市場 $\sum_m z_{K_m} = \sum_j N_j \cdot K_S$

家計行動モデルの定式化

居住地選択

$$V = \min_{P_{ij}^{HL}} \left[\sum_j P_{ij}^{HL} V_{ij} - \frac{1}{\theta^{HL}} \sum_j P_{ij}^{HL} \ln P_{ij}^{HL} \right]$$

$$\text{s.t. } \sum_j P_{ij}^{HL} = 1$$

V_{ij} : i に勤務し j に居住する家計の効用水準,
 P_{ij}^{HL} : ゾーン j の家計の立地選択確率,
 θ^{HL} : ロジットパラメータ

第一段階(消費)

$$V_{ij} = \max_{x_{H_{ij}}, x_{C_{ij}}} \left\{ \beta_H^{\frac{1}{\sigma_1}} x_{H_{ij}}^{\sigma_1} v_1 + (1 - \beta_H)^{\frac{1}{\sigma_1}} x_{C_{ij}}^{\sigma_1} v_1 \right\}^{\frac{1}{v_1}}$$

$$\text{s.t. } p_H x_{H_{ij}} + p_F x_{C_{ij}} = p_L \cdot [\Omega - 2 \cdot t_{ij}] + p_K K_S$$

$$+ p_{H_j}^F H_j^F + p_{H_j}^H H_j^H + \pi_L (\equiv M^1)$$

$p_H, x_{H_{ij}}$: 現在消費価格, 現在消費量,
 $p_F, x_{C_{ij}}$: 貯蓄価格, 貯蓄量,
 Ω, t_{ij}, K_S : 総利用可能時間, 通勤時間, 資本ストック量
 H_j^F, H_j^H : 建物資本ストック量(業務, 住宅)
 π_L : 地代再配分 $\left\{ = p_{A_j}^F A_j^F + p_{A_j}^H A_j^H \right\}$

第二段階(消費)

$$x_{H_{ij}} = \max_{x_{Z_{ij}}, x_{S_{ij}}, x_{T_{ij}}} \left[\gamma_Z^{\frac{1}{\sigma_2}} x_{Z_{ij}}^{\sigma_2} v_2 + \gamma_S^{\frac{1}{\sigma_2}} x_{S_{ij}}^{\sigma_2} v_2 + \gamma_T^{\frac{1}{\sigma_2}} x_{T_{ij}}^{\sigma_2} v_2 \right]^{\frac{1}{v_2}}$$

$$\text{s.t. } p_Z x_{Z_{ij}} + p_L x_{S_{ij}} + p_T x_{T_{ij}} = M^1 - p_F^* x_{C_{ij}}^* (\equiv M^2)$$

$$p_Z, x_{Z_{ij}}: \text{合成財価格, 合成財消費量,}$$

$$x_{S_{ij}}, p_T, x_{T_{ij}}: \text{余暇消費量, 総交通価格, 総交通消費量,}$$

第三段階(消費)

$$x_{Z_{ij}} = \max_{x_m^m, x_{F_j}^H} \prod_m x_m^{\zeta_m} \cdot x_{F_j}^{H \zeta_F}$$

$$\text{s.t. } \sum_m p_m x_m + p_{F_j}^H x_{F_j}^H = M^2 - \left\{ p_L^* x_{S_{ij}}^* + p_T^* x_{T_{ij}}^* \right\} (\equiv M^3)$$

$$x_m: \text{財消費量,}$$

$$p_{F_j}^H, x_{F_j}^H: \text{居住用建物サービス価格, 消費量}$$

$$\beta_H, \gamma_i, \zeta_m, \sigma_1, v_1: \text{パラメータ}$$

(業務用)建物資本市場, 土地市場

$$\sum_m z_{F_i}^m = N_i H_i^F, \sum_m z_{A_i}^m = N_i A_i^H$$

(居住用)建物サービス市場

$$y_{F_j} = N_j x_{F_j}^H$$

(居住用)建物資本市場, 土地市場

$$z_i^{HF} = N_i H_i^F, z_i^{HA} = N_i A_i^H$$

L_S, K_S : 一人あたり労働供給量, 一人あたり(民間)資本保有量
 H_i^F, H_i^H : 業務系建物資本, 住宅系建物資本一人あたり保有量
 A_i^F, A_i^H : 一人あたり供給可能業務地面積, 住宅地面積

図-5 各モデルの定式化

3. まとめ

本研究では, 都市圏を対象とした自動車交通への環境施策評価のための, CGE・CUE統合モデルの開発を行った。今後は, 本モデルを用いた数値計算による実証分析を行う予定である。

なお, 本研究は, 国土交通省国土交通政策研究所における「経済成長と交通環境負荷に関する研究会」での議論を参考にまとめたものであり, 関係各位に感謝の意を表する次第である。

参考文献

MPEC研究会編(2003): MPECにもとづく交通・地域政策分析, 勁草書房, 自動車交通による二酸化炭素排出削減政策の国民経済的評価, 第5章, pp.93-131.
 武藤慎一, 高木朗義, 上田孝行(2001): 地球温暖化ガス排出抑制のための土地利用規制策の経済評価, 環境システム研究論文集, Vol. 29, pp.47-55.
 赤松隆・半田正樹(1996): Nested LOGIT型交通・住居立地統合均衡モデルとその効率の解法, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp.279-287.
 Bertuglia, C.S., G. Leonardi and A.G. Wilson (1990): Urban Dynamics –designing an integrated model, Routledge.