

応用都市経済モデルによる都市交通整備政策の影響分析* Computable Urban Economic Model to Evaluate of Urban Traffic Upgrading Policies*

富田貴弘*2、武藤慎一*3、上田孝行*4

by Takahiro TOMITA*2, Shinichi MUTO*3, Takayuki UEDA*4

1.はじめに

現在、都市交通に起因する問題が深刻化してきている。このような問題に対し、都市交通整備政策がなされているケースが多いが、従来、都市交通の整備においては交通体系に及ぼす影響のみならず立地の変化も波及的な影響として生じることが指摘されている。よって都市交通政策の有効性を評価するには、交通と立地との相互関係を考慮して分析する必要がある。

これまで、交通と立地とを統合的に扱おうという研究は積極的になされてきた。都市経済学の分野では早くから立地均衡理論に基づくモデル開発が進められ、それを交通整備評価へ適用する試みがなされてきたが、そこでは理論的な分析に主眼が置かれ、それを実証分析へ適用して政策提言まで踏み込んで議論している例はあまり見られなかった。一方、土木計画学の分野では、土地利用—交通モデルと称する実証分析を意識したモデルの開発が進められてきた。しかし、そこでは理論的整合性が保たれていないという問題を有している点が指摘されている。¹⁾

このような問題を受け、上田ら²⁾あるいは小池ら³⁾はミクロ経済学的行動理論に基づく理論フレームの下での交通—立地モデルを開発している。例えば上田らは、都市経済モデルに基づく均衡論の立場を明確化したモデル開発を行い、特に立地に関わるモデルが数理最適化問題として定式化されている。また、小池らによって古典的消费者行動理論の枠組みを適用することにより、立地均衡モデルと交通均衡モデルを統合化する試みがなされている。しかしながら、これらミクロ経済学的行動モデルを明確化した交通立地統合均衡モ

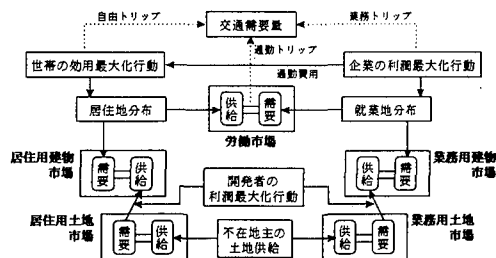
デルは、未だ実務レベルまでは普及していないのが現状である。

そこで、本研究では上田や小池らのモデルを再構築し、実際の都市圏で交通整備政策へ適用する事により、モデルの挙動及び有用性の検討を行う事を目的としている。また、数値計算への適用を意図しているという事から本研究で示す交通立地モデルを特別に応用都市経済(Computable Urban Economic :CUE)モデルと呼ぶこととし、本稿ではその理論フレームを示す事とする。

2.CUE モデルの構造

2.1 基本的なモデル前提

本モデルは以下の仮定に基づくものとする。



図一 都市(a)の地域*i*における経済主体の相互関係

- 1) 社会は政策が重点的に行われる都市圏(a)とそれ以外の都市圏(b)からなり、さらに都市圏(a)は I 個 ($I = \{1, \dots, i, \dots, I\}$) の地域からなるとする。
- 2) 地域 i には、世帯、従業者一人当たりで捉えた企業、土地開発者、不在地主が存在する。
- 3) 土地と建物は別個に取り引きされているものとし、それぞれ居住用、業務用からなるものとする。
- 4) 市場は、居住用、業務用のそれぞれについて建物市場および土地市場が存在する。

*キーワード：都市計画、土地利用

*2 学生員 岐阜大学大学院 博士前期課程

*3 正会員 工博 岐阜大学助手 工学部土木工学科

(岐阜市柳戸1-1 TEL:058-293-2447 FAX:058-230-1246)

*4 正会員 工博 東京製造業大学助教授 工学部開発システム学科

2.2 地者の行動モデル

(1) 立地均衡モデル

a) 世帯の立地選択行動

本稿で示される CUE モデルは、基本的には筆者ら
に構築したもの⁴⁾と同じである。すなわち、例えば
世帯であれば、まず都市圏(a)か(b)かを選択し(都市
圏選択)、都市圏(a)を選択した世帯は、その後地域を
選択する(地域選択)。その立地選択確率は以下のよ
うにそれぞれ求められる。^{3), 5)}

【都市圏*h*の立地選択確率】

$$P_i^{HA} = \frac{1}{1 + \exp \theta^{HA} \left[S^{HA} - \frac{1}{\theta^{HA}} \ln \sum_i \exp \theta^{HA} V_{a,i}^Z \right]} \quad (1)$$

【都市圏 *a* かつ地域 *i* に対する居住地選択確率】

$$P_{a,i}^{HZ} = \frac{\exp \theta^{HZ} V_{a,i}^Z}{\sum_i \exp \theta^{HZ} V_{a,i}^Z} \quad (2)$$

ただし、 P_i^{HA} : 都市圏 *l* (= *a* or *b*) の立地選択確率、 S^{HA} : 都市
圏 *b* における世帯の効用(定数)、*i* : 地域を表す添え字、 $P_{a,i}^{HZ}$:
都市圏 *a* かつ地域 *i* に対する立地選択確率、 $V_{a,i}^Z$: 都市圏 *a*
かつ地域 *i* を選択した世帯の効用、 θ^{HA} 、 θ^{HZ} : ロジットパラメー
タ。

式(2)の $V_{a,i}^Z$ は次に定式化される世帯の財消費行動
より導かれる。すなわち、世帯は所得制約の下で効用
を最大化するよう行動するものとする、その財消費
行動は以下のように定式化できる。

$$V_{a,i}^Z = \max_{z_i, a_i, x_i, s_i} [U_{a,i}^Z(z_i, a_i, x_i, s_i) + \mu \cdot \gamma(f_i)] \quad (3.a)$$

$$\text{s.t. } z_i + r_i a_i + (q_i + e)x_i + ws_i = w \left[T_i - \frac{\sum_{j \neq i} n_{ij} t_{ij}}{N_i} \right] + y_i \quad (3.b)$$

ただし、 $V_{a,i}^Z$: 都市圏 *a* かつ地域 *i* を選択した世帯の直接効用
関数、 z_i : 合成財消費、 a_i : 建物消費、 x_i : 自由目的トリップ消
費、 s_i : 余暇消費、 $\gamma(f_i)$: 地域 *i* 自動車交通流 f_i に依存する
外部不経済レベル、 r_i : 地域 *i* の居住用建物地代、 q_i : 自由目的
トリップに関する一般化価格、 e : 1 自由目的トリップあたりの
買い物費用、 w : 就業者一人あたりの賃金率(外生変数)、 T_i : 総
利用可能時間、 y_i : 地域 *i* に居住する世帯の資産所得、 n_{ij} : 地
域 *i* に居住し地域 *j* で就業する世帯数、 t_{ij} : *ij* 間の交通所要時
間、 N_i : 地域 *i* の世帯数。

なお、ここでは新たに自由目的トリップの中身を

明示化するモデル修正を行った。すなわち、自由目的
トリップとは買い物や飲食、娯楽などのサービスのた
めのトリップであり、ここでは1トリップあたりに支
出されるサービス消費を e として支出費用と同様に支
払うものとする。また、地域 *i* に居住する世帯の所得
は、総賃金所得、資産所得および平均的通勤時間によ
る時間損失の合計値で表され则认为している。

式(3)を解くと、以下のように各需要関数及び間接
効用関数が得られる。

$$\text{合成財消費: } Z_i = Z_i(r_i, q_i, y_i) \quad (4.a)$$

$$\text{居住用建物消費: } a_i = a_i(r_i, q_i, y_i) \quad (4.b)$$

$$\text{自由目的トリップ消費: } x_i = x_i(r_i, q_i, y_i) \quad (4.c)$$

$$\text{余暇消費: } s_i = s_i(r_i, q_i, y_i) \quad (4.d)$$

$$\text{間接効用関数: } V_{a,i}^Z = V_{a,i}^Z(r_i, q_i, y_i, \gamma_i) \quad (5)$$

これにより世帯の効用水準は外部不経済レベル γ の
関数になっていることがわかる。また、これを式(1)、
(2)に代入することにより各立地選択地確率が決定さ
れる。

b) 企業の立地行動

一方、企業の立地行動モデルは家計の自由目的トリ
ップをサービス消費のためのものとしてモデル化し
たことにより、サービス業を明示的にモデル化する必
要が出てくる。ただし、本研究では1自由目的トリッ
プあたり1サービス消費を行うものと仮定し、サービ
ス業はこのサービス需要を満足するという条件の下で
費用最小化行動をするものとする。すなわちこのよ
うなサービス業の利潤 $\Pi_{a,i}^S$ は以下のように定式化される。

$$\Pi_{a,i}^S = \max_{r_i^S, q_i^S} \left[\frac{e \sum_i x_{ij}^S}{E_j^S} - C(r_i^S, q_i^S) \right] \quad (6.a)$$

$$C_j = \min_{L_j^S, r_j^S, q_j^S} \left[wL_j^S + r_j^S a_j^S + Q_j^S + \frac{\sum_{i \neq j} n_{ij} p_{ij}}{E_j} \right] \quad (6.b)$$

$$s.t. \sum_i x_{ij}^S = g(a_i^S, X_i^S) \quad (6.c)$$

ただし、 $\Pi_{a,i}^S$: 都市圏 *a* かつ地域 *i* を選択したサービス業の利
潤、 $C(r_i^S, q_i^S)$: 費用関数、 $g(a_i^S, X_i^S)$: 生産関数、 e : 買い物客一人あ
たりの粗利益、 $\sum_i x_{ij}^S$: 地域 *i* への自由目的集中トリップ、 E_i^S : 地域 *i* のサ
ービス業の従業者数、 w : 賃金率、 L_i^S : 労働投入量、 r_i^S : サービス業建物
地代、 a_i^S : サービス業建物投入量、 Q_j^S : 業務トリップに関する一般化価
格、 X_i^S : サービス業に関する業務トリップ投入量、 n_{ij} : 地域 *i* に居住し地
域 *j* で就業するサービス業従業者数、 p_{ij} : *ij* 間の通勤費用。

ここに e は、単位自由目的トリップあたりの支払額であるので、発生ゾーンについて総和をとった自由目的トリップ数を乗じ、 j ゾーンのサービス従業者数で除したものが従業者一人あたりの利益となる。

また、本モデルでは、サービス業における通勤費用は企業が負担している。さらに、この式(6)を解くことにより、サービス業に関する各投入量及び利潤を以下のように得ることができる

$$\text{労働投入: } L_i^s = L_i^s(r_i^s, Q_i) \quad (7.a)$$

$$\text{建物投入: } a_i^s = a_i^s(r_i^s, Q_i) \quad (7.b)$$

$$\text{業務トリップ投入: } X_i^s = X_i^s(r_i^s, Q_i) \quad (7.c)$$

$$\text{利潤: } \Pi_{a,i}^s = \Pi_{a,i}^s(r_i^s, Q_i) \quad (8)$$

また、製造業の利潤 $\Pi_{a,i}^F$ は、以下の生産行動より導かれる。すなわち、製造業は生産技術制約の下で利潤を最大化するよう行動するものとする、その生産行動は以下のように定式化できる。また、製造業においても通勤費用は企業が負担する形となっている。

$$\Pi_{a,i}^F = \max_{a_i^F, X_i^F} \left[Z_i - r_i^F a_i^F - Q_i X_i^F - w L_i^F - \frac{\sum_j n_{ij} p_{ij}}{E_j} \right] \quad (9.a)$$

$$\text{s.t. } Z_i = Z_i(a_i^F, X_i^F) \quad (9.b)$$

ただし、 $\Pi_{a,i}^F$:都市圏 a かつ地域 i を選択した製造業の利潤、 Z_i :合成財供給量、 r_i^F :地域 i の製造業用建物地代、 a_i^F :生産のための製造業用建物投入量、 Q_i :業務トリップに関する一般化価格、 X_i^F :製造業に関する業務トリップ投入量、 L_i^F :労働投入量、 p_{ij} : ij 間の通勤費用、 E_j :地域 j の企業の従業者数、 n_{ij} :地域 i に居住し地域 j で就業する企業従業者数

式(7)を解くことにより、製造業に関する各投入量・供給量及び利潤関数を以下のように得ることができる。

$$\text{業務用建物投入: } a_i^F = a_i^F(r_i^F, Q_i) \quad (10.a)$$

$$\text{業務トリップ投入: } X_i^F = X_i^F(r_i^F, Q_i) \quad (10.b)$$

$$\text{合成財供給: } Z_i = Z_i(r_i^F, Q_i) \quad (10.c)$$

$$\text{利潤: } \Pi_{a,i}^F = \Pi_{a,i}^F(r_i^F, Q_i) \quad (11)$$

企業はこれらの利潤を最大化するよう行動するものとする。そして、式(8)、(11)と式(1)、(2)より各企業の業務地選択確率が決定する。

c) 通勤トリップ

立地均衡モデルより、地域 i の世帯数 N_i および地域 j の企業の就業者数 E_j がそれぞれ次のように得られる。

$$N_i = P_{a,i}^{HZ} \cdot P_a^{HA} N^T \quad (12.a)$$

ただし、 H :家計を表す添え字、 N^T :総世帯数(固定)。

$$E_j = P_{a,j}^{FZ} \cdot P_a^{FA} E^{FT} + P_{a,j}^{SZ} \cdot P_a^{SA} E^{ST} \quad (12.b)$$

ただし、添え字 F は製造業を、 S はサービス業を表す、 E^T :総就業者数(固定)。

通勤トリップに関しては、世帯数 N_i を発生トリップ、就業者数 E_j を集中トリップと考えて、通常の分布交通量を求める問題と捉えることができる。そこで、二重制約型重力モデルを用いると、以下のように通勤トリップ分布 n_{ij} が求められる⁵⁾。

$$n_{ij} = \mu_i N_i \cdot \nu_j E_j \cdot (q'_{ij})^{-\rho} \quad (13.a)$$

$$\mu_i = \frac{1}{\sum_j \nu_j E_j \cdot (q'_{ij})^{-\rho}}, \nu_j = \frac{1}{\sum_i \mu_i N_i \cdot (q'_{ij})^{-\rho}} \quad (13.b)$$

ただし、 n_{ij} :地域 i に居住し地域 j に就業する世帯数、 q'_{ij} : ij 間の平均交通一般化価格、 μ_i, ν_j :調整パラメータ、 ρ :パラメータ。

(2) 交通均衡モデル

交通均衡モデルについても先の立地均衡モデル同様筆者らが構築したものと同じであるため、選択確率のみ示し他については割愛する。

【目的地 j の選択確率】

$$P_{ij}^D = \frac{\exp[\theta^D \cdot S_{ij}^D]}{\sum_j \exp[\theta^D \cdot S_{ij}^D]} \quad (14.a)$$

【交通機関 k の選択確率】

$$P_{ij,c}^S = \frac{\exp[\theta^S \cdot S_{ij,k}^S]}{\sum_k \exp[\theta^S \cdot S_{ij,k}^S]} \quad (15)$$

【経路 r の選択確率】

$$P_{ij,c,r}^K = \frac{\exp[-\theta^K \cdot q_{ij,c,r}^K]}{\sum_r \exp[-\theta^K \cdot q_{ij,c,r}^K]} \quad (16)$$

ただし、 P_{ij}^D :目的地 j の選択確率、 $\delta_{ij,\sigma}$:リンカー-経路接続行列、 $\theta^D, \theta^S, \theta^K$:ロジットパラメータ。

2.3 開発者の行動

開発者は、資材 k_i と土地 l_i を投入して、利潤最大化の下で建物を供給しているとする。本研究では建物を居住用と業務用とに区別してモデル化しているが、ここでは両者とも同様に定式化されるので居住用建物の供給行動のみを示すこととする。

$$\pi_i^H = \max_{a_i^H} [r_i^H a_i^H - c(a_i^H)] \quad (17.a)$$

$$\text{s.t. } c(a_i^H) = \min(r_i^H l_i^H + h k_i^H) \cdot a_i^H = a_i^H(r_i^H, k_i^H).$$

$$a_i^H \leq \bar{a}_i^H \quad (17.b)$$

ただし、 π_i ：開発者の利潤、 as_i ：居住用建物供給量、 $c(as_i)$ ：居住用建物生産費用、 r_i^L ：居住用地代、 h ：資材価格、添え字の H は家計を表す。

式(17)を解くと、居住用建物供給 as_i^H 、居住用地需要 l_i^H とともに利潤関数が求められる。

$$\text{居住用建物供給： } as_i^H = as_i^H(r_i^H, r_i^{HL}) \quad (18.a)$$

$$\text{居住用地需要： } l_i^H = l_i^H(r_i^H, r_i^{HL}) \quad (18.b)$$

$$\text{利潤： } \pi_i^H = \pi_i^H(r_i^H, r_i^{HL}) \quad (18.c)$$

2.4 不在地主の行動

政策後のゾーン内での総土地供給面積を政策前までの土地供給面積と非都市的土地利用用地（主に農地）からの転用である新規土地供給面積の和で定義する。土地供給者は保有・賃貸に関する選択を行うものと考え、その選択行動を確率論に立脚し、ロジット・モデルで表現する。なお、政策後の地代を政策前の地代の外挿によって算出された地代であると農地保有者が予想しているものとする。

$$L_i^N = \frac{\exp(\eta \cdot P_i)}{\exp(\eta \cdot P_i) + \exp(\eta \cdot P_i^P + X_i)} \cdot L_i^a$$

$$= \frac{L_i^a}{1 + \exp[\eta \cdot \{(P_i - P_i^P) - X_i\}]} \quad (19.a)$$

ただし、 L_i^N ：新規土地供給面積、 L_i^a ：政策前の農地面積、 P_i ：政策前までの地代の外挿によって得られる政策後の地代、 P_i^P ：政策後の地代、 X_i ：政策後の地代以外の効用項、 η ：パラメータ。

よって、政策後の土地供給面積は政策前の土地供給面積と新規土地供給面積の和で求められる。

$$L_i^l = L_i + L_i^N \quad (19.b)$$

3. 均衡条件

(1) 立地均衡条件

世帯の立地均衡選択確率より立地均衡条件は以下のようになる。

$$N^T = \sum_i N_i^a + N^b \quad (20)$$

ただし、 $N_i^a = N^T \cdot P_a^{HA} \cdot P_a^{HZ}$ 、 $N^b = N^T \cdot P_b^{HA}$ 。

また、同様に企業の立地選択確率より、その立地均衡条件式は以下のようになる。

$$E^{FT} = \sum_i E_i^{Fa} + E^{Fb} \quad (21.a)$$

$$E^{ST} = \sum_i E_i^{Sa} + E^{Sb} \quad (21.b)$$

ただし、 $E_i^{Fa} = E^{FT} \cdot P_a^{FA} \cdot P_a^{FZ}$ 、 $E^{Fb} = E^{FT} \cdot P_b^{FA}$ 添え字の S はサービス業を表す。

(2) 市場均衡条件

本モデルで明示的に扱われる市場は、建物市場と土地市場である。また、それぞれ居住用と業務用とを区別してモデル化を行っているため、以下のような市場均衡条件が表される。

$$\text{居住用建物市場： } as_i(r_i, r_i^L) = N_i^a a_i(r_i) \quad (22.a)$$

$$\text{居住用地市場： } L_i(r_i^L) = l_i(r_i, r_i^L) \quad (22.b)$$

$$\text{製造業用建物市場： } as_i^F(r_i^F, r_i^{FL}) = E_i^{Fa} a_i^F(r_i^F) \quad (22.c)$$

$$\text{製造業用土地市場： } L_i^F(r_i^{FL}) = l_i^F(r_i^F, r_i^{FL}) \quad (22.d)$$

サービス業用建物市場：

$$as_i^S(r_i^S, r_i^{SL}) = E_i^{Sa} a_i^S(r_i^S) \quad (22.e)$$

サービス業用土地市場：

$$L_i^S(r_i^{SL}) = l_i^S(r_i^S, r_i^{SL}) \quad (22.f)$$

ただし、 as_i ：建物供給量、 r_i^L ：地代、 L_i ：土地供給量、添え字の H は家計を、 F は製造業を、 S はサービス業を表す。

なお、労働市場に関しては、本モデルでは賃金率を固定しており、市場均衡条件によって賃金率が決定される構造にはなっていない。しかし、二重制約型重力モデルによって通勤トリップを表したことによって世帯は居住地や就業地を変更することが可能であり、それによって本研究では労働市場におけるバランスが表現されていると考えている。

4. おわりに

本研究では実際の都市への適用を考慮して応用都市経済モデルの拡張を行った。また、本モデルを用いての、岐阜都市圏を対象とした数値シミュレーション分析の結果については、講演時に紹介する予定である。

【参考文献】

- 1) 上田孝行・堤盛人(1999)：我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、印刷中。
- 2) 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。
- 3) 小池淳司・上田孝行・小森俊文(1997)：ミクロ行動理論に基づく交通—立地モデルの開発、土木計画学研究・論文集 No.14, pp.259-267。
- 4) 武藤慎一・上田孝行・金沢敏徳(1997)：都市環境政策評価のための交通・立地統合モデルの開発、土木計画学研究・講演集 No.21(2), pp.455-458。
- 5) 宮城俊彦(1995)：ネステッド・エントロピーモデルとその応用、土木計画学研究・講演集 No.18(2), pp.163-166。
- 6) 文世一(1995)：商業活動の立地均衡と社会的効率性、土木計画学研究・論文集 No.12, pp.179-186。