

# 東京圏における応用都市経済モデルの適用\*

## Application of Computable Urban Economic(CUE) model at Tokyo Metropolitan Area\*

山崎清\*\* 武藤慎一\*\*\*上田孝行\*\*\*\* 助川康\*\*\*\*\*

Kiyoshi YAMASAKI\*\* Shinichi MUTO\*\*\*Taka UEDA\*\*\*\* Yasushi SUKEGAWA\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

1997年の気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)で、先進国の温室効果ガスの排出削減目標を定めた京都議定書が採択され、我が国の運輸部門では1990年比17%増の目標が定められたが、1995年には90年比で17%増、2001年には23%増という状況である。

CO2排出量は「活動量(交通需要等)×排出原単位(交通状態に依存)」であり、これらの分析・予測・計画のためには、経済活動を土地に投影した土地利用の変化や従来の交通需要予測では取り扱われていない「誘発交通」「開発交通」等を扱うとともに、施策効果については経済主体及び地域等の帰着ベースで計測していくことが望ましいと考えられる。

そこで、本研究では、1980年代から進められている土地利用・交通モデルの流れと経済効果を分析する応用一般均衡分析の流れを取り込んだモデルを構築し、国土・都市計画、鉄道、道路等の各種施策を東京圏において横断的・統一的に評価を行うことを目的とする。

このような、都市構造・交通体系・環境負荷・経済の相互作用を考慮した統合的なモデルは、Anas<sup>1)</sup>が経済学的行動原理を取り入れたモデルの提案を行い、我が国でも森杉・大野<sup>2)</sup>、上田<sup>3)</sup>、宮城<sup>4)</sup>により研究がなされてきた。特に、森杉・大野では便益計測についても議論が展開されている。しかし、Anasによるものは理論フレームのみにとどまっており、森杉・大野、上田は立地モデル、また宮城は交通モデルに重

点を置いたものであった。また、山口・山崎<sup>6)</sup>、国土交通政策研究所<sup>5)</sup>は本調査と同地域である東京圏において、尹・青山ら<sup>7)</sup>は京阪神において、それぞれ大規模な土地利用・交通モデルを構築しているが、交通行動と立地行動とが完全に整合しておらず等価的偏差による便益評価が困難であった。また、上田・武藤<sup>9)</sup>は既存研究を基に、交通行動と立地行動を整合的に扱い、最終的には費用便益の枠組みで交通基盤整備の効果を実測可能なモデルを構築している。

本研究では上田・武藤により構築された応用都市経済モデルをベースにしつつ、国土交通政策の実務との整合性を図りつつ、大規模な都市圏である東京圏に適用し、現在、計画されている鉄道、幹線道路等の交通基盤整備による都市構造及び交通体系の変化、そして、CO2排出量、経済、都市構造等の影響を統一したフレームで分析することを目的としている。

### 2. モデル構造

#### (1) モデルの全体構造

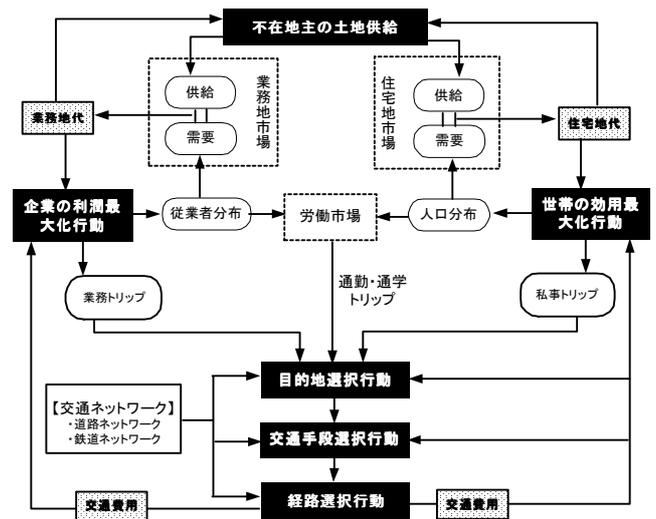


図1 モデルの全体構造

モデルの全体構造は図1のとおりである。世帯は生産要素を提供することで所得を得て、それを基に自身の効用を最大化されるように財の消費を行うものとし、財及び自由トリップ消費の結果として得られる効用値を指標に、居住地の選択を行う。

企業は土地、業務トリップを投入して利潤が最大

\*キーワード：地球環境問題、整備効果計測法、土地利用、総合交通計画

\*\*正員、株式会社 価値総合研究所 戦略調査事業部

(〒108-0073 東京都港区三田3-4-10、

TEL 03-5441-4812、FAX 03-5441-7661)

\*\*\*正員、工博、大阪工業大学工学部都市デザイン工学科

(〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1、

TEL 06-6954-4203、FAX 06-6957-2131)

\*\*\*\*正員、工博、東京大学大学院工学系研究科

(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1、

TEL 03-5841-6116、FAX 03-5379-0125)

\*\*\*\*\*非会員、修(政)、国土交通省国土交通政策研究所

(〒100-8918 東京都千代田区霞ヶ関2-1-2、

TEL 03-5253-8816、FAX 03-5253-1678)

となるように生産を行い、結果として得られる利潤を指標に立地選択を行う。

不在地主は家計及び企業に対し利用可能な土地を全て提供し地代収入を得る。不在地主は供給可能面積のうち何割を市場に供給するのかを決定する。

## (2) モデルの定式化

### a) 家計の行動

家計の効用最大化行動は(1a)(1b)のように定式化しており、効用関数は対数線形で特定化している。

$$V_i^H = \max_{z_i, a_i, x_i} [\alpha_z \ln z_i + \alpha_a \ln a_i + \alpha_x \ln x_i] \quad (1a)$$

$$\text{st. } z_i + r_i a_i + q_i^p x_i^p = w(T - q_i^w x_i^w - q_i^s x_i^s) \quad (1b)$$

ここで、 $i$ : ゾーンを表す添え字、 $V_i^H$ : ゾーン  $i$  の世帯の効用水準、 $z_i$ : 価格を 1 とした合成財の消費量、 $a_i$ : 住宅地消費量、 $x_i^p$ : 私事トリップ消費量、 $z$ ,  $a$ ,  $x$ ,  $i$ : 分配パラメータ、 $T$ : 総利用可能時間(固定)、 $r_i$ : 地域  $i$  の住宅地代、 $q_i^p$ : 私事トリップの一般化価格、 $x_i^w$ : 通勤トリップ消費量、 $x_i^s$ : 通学トリップ消費量、 $q_i^w$ : 通勤トリップの一般化価格、 $q_i^s$ : 通学トリップの一般化価格。

(1)式を解くと、各財の消費量が求められる。

$$z_i = \alpha_z I_i \quad a_i = \frac{\alpha_a}{r_i} I_i \quad x_i = \frac{\alpha_x}{q_i} I_i \quad (2)$$

$$I_i = w(T - q_i^w x_i^w - q_i^s x_i^s)$$

(2)式を(1)式に代入し、効用水準が求まる。

$$V_i^H = \ln I_i - \alpha_a \ln r_i - \alpha_x \ln q_i + C \quad (3)$$

$$C = \alpha_z \ln \alpha_z + \alpha_a \ln \alpha_a + \alpha_x \ln \alpha_x$$

立地選択確率は(3)式を効用関数として以下のようなロジットモデルとなる。

$$P_i^H = \frac{\exp \theta^H V_i^H}{\sum_i \exp \theta^H V_i^H} \quad (4)$$

### b) 企業の行動

企業は、利潤最大化行動は土地(業務用地)と業務トリップを投入して、生産技術制約の下で利潤が最大となるように生産を行っているものとする。なお、ここでは生産関数をコブ・ダクラス型技術により特定化した。また、本研究の対象地域である東京圏は都心3区を中心として企業が高集積しており、この集積のメカニズムをモデルに導入するため、小池・上田<sup>11)</sup>、文<sup>10)</sup>と同様に、企業の生産関数に全要素生産性として「規模の経済」を設定した。

$$\Pi_i^B = \max_{A_i, X_i, L_i} [Z_i - R_i A_i - Q_i X_i] \quad (5)$$

$$\text{st. } Z_i = G(E_i) A_i^{\beta_A} X_i^{\beta_X} \quad G(E_i) = \eta_i E_i^\sigma$$

ただし、 $Z_i$ : 合成財生産量、 $A_i$ : 業務用地投入量、 $X_i$ : 業務トリップ投入量、 $R_i$ : 業務用地代、 $Q_i$ : 業務トリップ一般化価格、 $i$ : 生産効率パラメータ、 $E_i$ : ゾーン  $i$  の従業者数、 $A$ ,  $X$ : 分配パラメータ。

(5)式を解くことにより、企業の生産要素需要である土地投入量( $A$ )、業務トリップ投入量( $X$ )が以下のように求められる。なお、式(6)を生産関数に代入すると、生産物の供給関数が(7)のように求められ、これらを用いて利潤関数が導出される

$$A_i = \frac{\beta_A}{R_i} Z_i \quad X_i = \frac{\beta_X}{Q_i} Z_i \quad (6) \quad Z_i = \left[ G(E_i) \left( \frac{\beta_A}{R_i} \right)^{\beta_A} \left( \frac{\beta_X}{Q_i} \right)^{\beta_X} \right]^{(\beta_A + \beta_X)} \quad (7)$$

次に、世帯の居住地選択行動と基本的には同様のものに利潤関数を用いて企業の立地選択確率は以下のように求められる。

$$P_i^B = \frac{\exp \theta^B \Pi_i^B}{\sum_i \exp \theta^B \Pi_i^B} \quad (8)$$

### c) 不在地主の土地供給メカニズム

不在地主は、家計、企業へ土地を供給し、地代収入による利潤を得る。その不在地主の土地供給関数を以下のように定式化する。式(9a)、(9b)の( )内は0~1までの値をとるものとし、式(13a)、(13b)では不在地主が供給可能面積のうち何割を市場に供給するのかが決定される。

$$y_i^H = \bar{y}_i^H \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_i^H}{r_i} \right) \quad (9a) \quad y_i^B = \bar{y}_i^B \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_i^B}{R_i} \right) \quad (9b)$$

ただし、 $y_i^H$ : 居住用土地供給、 $y_i^B$ : 業務用土地供給、 $\bar{y}_i^H, \bar{y}_i^B$ : 土地供給可能面積、 $H, B$ : パラメータ。

一般に、土地の供給は増加することはあっても減少することはないと考えられるが、ここでは住宅地だった場所が空き地や駐車場のよう遊休地になる場合を想定したものである。

### d) 立地選択モデルでの留保層の考慮

本モデルでは「国勢調査」「事業所統計」を用い、主体を立地動態別に「留保層」と「変動層」に分類し、変動層のみを立地配分対象とする。

### e) 交通行動のモデル化

交通行動のモデル化では下図のような Nested Logit 型のツリー構造と仮定する。

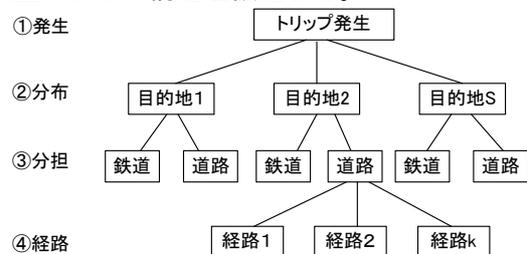


図2 Nestid Logit 型の選択構造

### f) 発生交通モデル

効用最大化及び利潤最大化行動により求められた世帯の私事トリップ消費量、企業の業務トリップ消費量は、ゾーン毎の世帯、企業の総発生トリップ(トリップ発生原単位)を表している。つまり、私事、業務

目的のトリップは交通サービスレベルの変化により発生交通量が変化する構造となっている。

通勤、通学の目的のトリップに関しては基本的には交通サービス水準の変化の影響を受けることは少ないと考えられるため、基本的には従来型の発生交通モデル（線形回帰モデル）を用いる。

g) 目的地及び交通手段の選択

各目的に対し目的地選択、交通手段選択の定式化を行う。ここでは目的選択・交通手段選択モデルに関しては全ての移動目的に対してネスティッド・ロジットモデルを用いており、分布・分担が同時に決定される構造となっている。目的地選択モデルは固有の費用  $C_{ijm}$  の設定には吉田・原田<sup>12)</sup>の方法を用い、ゾーンの面積等の規模を示す変数を導入する。一般化交通費用に関しては鉄道運賃、自動車のガソリン代等の費用を導入している。

$$P_{ijm} = \frac{\exp[-\theta_1(C_{ijm} + q_{ijm})]}{\sum_m \exp[-\theta_1(C_{ijm} + q_{ijm})]} \quad (10a) \quad P_{ij} = \frac{\exp[-\theta_2(C_{ij}^D + S_{ij}^D)]}{\sum_j \exp[-\theta_2(C_{ij}^D + S_{ij}^D)]} \quad (10b)$$

ただし、 $P_{ij}$ ：目的地  $j$  の選択確率、 $S_{ij}^D$ ：交通手段選択における期待最小費用、 $P_{ijm}$ ：交通手段  $m$  の選択確率、 $q_{ijm}$ ：交通手段  $m$  の一般化交通費用、 $C_{ijm}$ ： $ij$ 間の手段  $m$  の固有の費用、 $C_{ij}^D$ ： $ij$ 間の固有の費用、 $1, 2$ ：ロジットパラメータ。

ここで期待最小費用は以下のように表される。

$$S_{ij}^D = -\frac{1}{\theta_1} \ln \sum_m \exp[-\theta_1(C_{ijm} + q_{ijm})] \quad (10c)$$

h) 経路選択行動

交通量の配分モデルでは、鉄軌道、道路共に利用者行動の不確実性を考慮し、確率的利用者均衡配分を用いる。

i) 立地均衡条件

家計及び企業の立地選択確率は式(4)(8)にて表され、変動層及び固定層を考慮して、立地均衡条件は以下のようになる。

$$NT = \sum_i N_i \quad ET = \sum_i E_i \quad (11a)$$

$$N_i = N_i^V + N_i^F \quad E_i = E_i^V + E_i^F \quad (11b)$$

$$N_i^V = NT^V \cdot P_i^H \quad E_i^V = ET^V \cdot P_i^B \quad (11c)$$

$$NT = NT^V + NT^F \quad ET = ET^V + ET^F \quad (11d)$$

ただし、 $NT$ ：都市圏総人口、 $N_i$ ：変動層+固定層、 $N_i^V$ ：立地選択、 $NT^V$ ：総変動層+総固定層、添え字  $V$ ：変動層、添え字  $F$ ：固定層、 $ET$ ：都市圏総従業者数、 $E_i$ ：変動層+固定層、 $E_i^V$ ：立地選択、 $ET^V$ ：総変動層+総固定層。

j) 土地市場均衡条件

本モデルで明示的に扱われる市場は土地市場である。これは居住用と業務用とを区別してモデル化を行っており、市場均衡条件は以下のように表される。

$$a_i(r_i) \cdot N_i = y_i^H(r_i) \quad (12a) \quad A_i(R_i) \cdot E_i = y_i^B(R_i) \quad (12b)$$

3. モデルの実行

(1) モデル実行の前提条件

a) モデルのフレーム

本モデルでは都市圏全体の総人口及び総従業者数を外生的に与える必要がある。総人口は社会保障・人口問題研究所の「都道府県の将来推計人口（H14推計）」を用い、総従業者数については労働市場の需給バランスを考慮して設定している。



図3 モデルの対象地域及びゾーニング

b) 評価施策

No.	ケース名	施策内容
1	BAU(無施策)	道路、鉄道整備水準について2000年値
2	都心部容積緩和	都心3区の容積率を30%緩和
3	道路整備	3環状9放射、第2湾岸を整備
4	ロードプライシング	都心部(外堀通り内)にロードプライシング実施
5	鉄道整備	運政審18号答申A1,A2路線整備
6	鉄道運賃一律半	鉄道運賃を一律半額に値下げ
7	鉄道運賃最低運	鉄道運賃を最低運賃で固定、単一運賃化
8	鉄道初乗運賃無	鉄道運賃の初乗運賃を無しとし、距離に応じて増額
9	パッケージ施策1	No.全施策-No.3道路整備
10	パッケージ施策2	No.パッケージ1にNo.3道路整備を追加

c) パラメータの設定

土地利用モデルにおける家計の効用関数、生産関数等は「県民経済統計」等を用いてキャリブレーションによりを用いてパラメータを設定した。

交通モデルにおける目的地選択及び交通手段選択はパーソントリップ調査を用いて推定している。交通モデルのパラメータの推計結果は以下のとおりである。

表1 交通手段選択モデルのパラメータ推定結果

	通勤		通学		私事		業務	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
交通費用	-0.070	-54.99	-0.026	-9.67	-0.061	-36.93	-0.036	-27.13
駅密度	0.565	17.67	0.129	2.36	0.462	29.233	0.313	32.285
イグレス	-0.790	-28.24	-0.311	-6.52	-0.914	-19.46	-1.038	-26.54
定数	-0.858	-20.98	-1.910	-27.34	0.226	4.892	0.225	6.079

相関係数	0.801	0.752	0.700	0.660
サンプル数	5,207	1,182	3,869	3,638

表 2 目的地選択モデルのパラメータ

	通勤		通学		私事		業務	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
期待最小費用	-0.030	-88.59	-0.021	-50.93	-0.022	-68.06	-0.018	-69.86
従業者密度	1.162	71.338	0.750	41.861	0.897	54.272	1.053	72.866
相関係数	0.69898		0.56896		0.70227		0.82461	
サンプル数	11,122		7,507		9,518		9,523	

(2) 実行結果

本モデルの実行結果としては、土地利用、交通、環境、経済等の数多くの指標が出力されるが、本稿では、CO2 排出量の推移 (BAU との比較) と便益を以下に示す。まず、CO2 排出量を見ると、3 環状 9 放射等の道路整備を行った場合、CO2 排出量が大幅な増加となるが、鉄道整備、鉄道運賃低減施策は大幅な減少となる。

一方、便益を見ると、事業費を考慮しない場合には道路整備が最も便益が高く、事業費を考慮した場合には鉄道整備が最も便益が大きくなる。

本モデルは土地利用の変化、発生段階からの誘発・開発交通を考慮しており、東京圏のように慢性的に道路が混雑している地域におけるメカニズムが反映されていると考えられる。

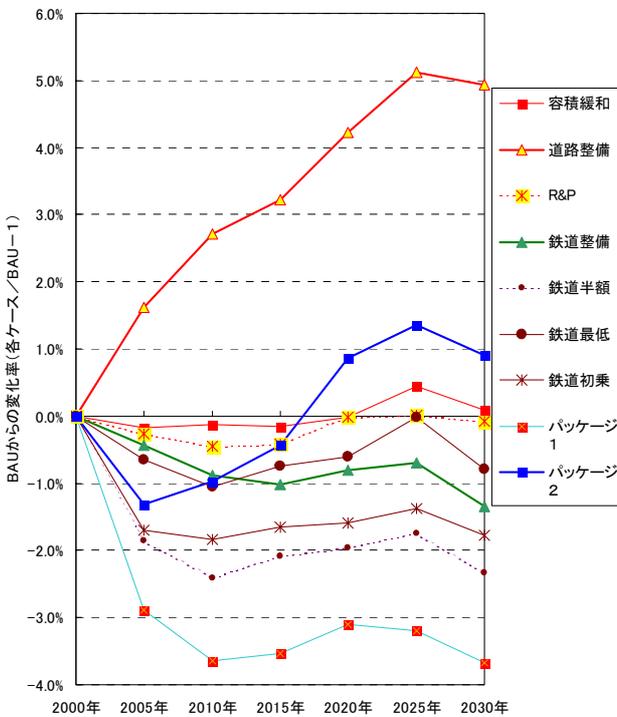


図 4 CO2 排出量の結果

表 3 2030 年の便益 (億円 / 年)

	容積緩和	道路整備	RP	鉄道整備	鉄道半額	鉄道最低	鉄道初乗	パッケージ1	パッケージ2
時間短縮	-10	5,277	-12	3,692	-1,219	-541	-821	2,647	7,231

鉄道運賃低減					12,753	4,253	10,922	14,235	14,388
RP 料金徴収								-101	-102
時間短縮	11	830	-21	328	-33	-29	11	316	1,062
企業 鉄道運賃低減					805	284	675	887	874
RP 料金徴収								-117	-119
不在地主	7	313	5	343	-84	-39	-52	290	555
鉄道事業者 運賃収入									
道路管理者 RP 収入				236				218	221
事業費		-4,286		-2,057				-2,057	-6,343
合計 事業費無し	8	6,420	-27	4,362	-1,336	-609	-863	3,253	8,848
合計 事業費考慮	8	2,134	-27	2,305	-1,336	-609	-863	1,196	2,505

注) 事業費は鉄道は運輸政策審議会 18 号答申の事業費 7.2 兆円、道路は事業実績より事業単価を算出し 15 兆円と設定し、事業期間は 30 年

謝辞

本稿は国土交通省国土交通政策研究所「経済成長と交通環境負荷に関する研究会」の研究成果の一部を掲載したものである。関係各位に感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) Anas, A : Discrete Choice Theory and the General Equilibrium of Employment, Housing and Travel Networks in a Lowry-type Model of the Urban Economy, Environment and Planning, 1984, Vol.16
- 2) Morisugi, H. and E. Ohno: A Benefit Incidence Matrix for Urban Transport Improvement, Papers in Regional Science: The Journal of the RSAI, Vol. 71
- 3) 上田孝行: 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, 日本交通研究会, 1995.
- 4) 宮城俊彦, 奥田 豊, 加藤人士: 数理最適化手法を基礎とした土地利用・交通統合モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.518/IV-28, pp.95-105, 1995.
- 5) 国土交通省国土交通政策研究所: 環境負荷の少ない都市・国土構造に関する研究, 国土交通政策研究, 第 14 号, 2002.
- 6) 山口勝弘, 山崎 清: 環境面で持続可能な大都市の交通体系及び都市構造—首都圏における各種施策が 2030 年までの CO2 排出量に及ぼす影響, 第 25 回土木計画学研究発表会, 2002.
- 7) 尹 鍾進, 青山吉隆, 中川 大, 松中亮治: 立地変動を考慮した実用的な土地利用・交通モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, Vol.17, pp.247-256, 2000.
- 8) Shinichi MUTO, TakaUEDA, Katsuhiko YAMAGUCHI, Kiyoshi YAMASAKI: Evaluating Urban Environmental Policies with Considering Social Welfare Loss, 10th World Conference on Transport Research, 2004
- 9) 武藤慎一, 秋山孝正, 高木朗義: 空間的構造変化を考慮した都市環状道路整備の便益評価, 交通学研究, 2000 年研究年報, pp.205-214, 2000.
- 10) 文世一: 交通ネットワークと多都市システムの一般均衡モデルに関する実証的研究, 2001
- 11) 小池淳司: 国土政策評価のための都市群モデルと便益帰着構成表, 1999
- 12) 吉田、原田: 選択肢集合の確率的形成を考慮した集計型目的地選択モデルの研究, 土木学会論文集 IV 1999