応用都市経済モデルによる立地変化を考慮した便益評価に関する研究*

*The Benefit Evaluation Considering the Relocating Sectors with Computable Urban Economic Model**

武藤慎一*2，上田孝行*3，髙木朗義*4，冨田貴弘*5

*By Shinichi MUTO*2, Taka UEDA*3, Akiyoshi TAKAGI*4 and Takahiro TOMITA*5*

1．背景と目的

都市交通整備は，交通体系に影響を及ぼすだけでなく中長期的には立地にも影響を与え，その立地変化が再び交通体系へ影響を与える．よって，都市交通の整備効果を評価する場合には，交通と立地の相互関係を考慮して分析を行うことが必要といえる．これに対し，従来，交通と立地とを統合的に扱おうとした交通立地モデルに関する研究が様々なされてきており，上田・堤[1]によりそれらの体系化が試みられるまでに至っている．このような研究が進められていく中で，近年は均衡概念に基づく交通立地統合モデルの開発が積極的になされている．

これまで，交通の分野では交通ネットワーク均衡に関する研究が，都市経済学及び地域科学の分野では経済均衡理論に基づく立地均衡に関する研究が独自に進められてきた中で，それらを統合させようと試みられたのも当然の流れといえる．その代表的なものが Anas[2] によって示されたものであり，そこでは一般均衡理論のフレームに基づき，交通ネットワーク均衡との整合にも配慮した交通立地統合モデルが開発されている．

また，わが国においても，Morisugi and Ohno[3]が，一般均衡理論のフレームに基づく立地均衡モデルを開発し，都市交通整備の評価へ適用しているし，上田[4]では，それまでの土地利用—交通モデルをミクロ経済学的行動原理及び経済均衡概念を取り入れて理論フレームを再構築し，さらに建物市場も取り入れたモデルの開発を行っている．これら都市経済モデルに理論的基礎をおくモデルの最大の利点は，便益定義を行うことができ，費用便益分析の枠組みで都市交通整備の評価を行うことを可能としている点にある．上田[5]あるいは髙木[6]は，この立地均衡モデルを利用して空間経済では複数の便益を定義することが可能であることを示している．ただし，交通整備評価という点から見ると，Morisugi and Ohno[3]及び上田[4]のモデルは交通均衡まで考慮した形にはなっていなかった．一方，宮城ら[7]は，交通需要行動に関わる部分を交通均衡モデルによりモデル化した土地利用—交通モデルを提案しているが，ここでは逆に立地均衡との整合が十分考慮されていなかった．

本研究では，まず既往研究を基に，交通と立地の両部門を整合的に扱い得る理論体系を，都市経済モデルの枠組みにて再構築する．それを，わが国の中規模の都市である岐阜都市圏へ適用することにより，その適用可能性を示すことを目的とする．よって，本研究で示されるモデルは，従来の都市経済モデルを計算可能(Computable)にしたものであり，これを応用都市経済(Computable Urban Economic: CUE)モデルと呼ぶこととする．応用都市経済モデルも，効用理論に基づいて定式化がなされるため，便益定義を行うことが可能である．本研究では，上田[5]，髙木[6]による定義を継承して便益定義を行うが，そこでの研究では，住み替えを行った人の便益については明示的に扱われていなかったため，住み替えを行った人々の便益も扱った便益定義及びその計測を行うことを第二の目的とする．これについては，森杉ら[8]が住み替え者の便益定義について提案を行っているが，そこで示されているモデルと本研究で示すものとは，モデルを構築する際の前提条件が異なっている点に注意が必要であり，ここでは，上田[5]，髙木[6]によって提示された便益定義の枠組みに対し，住み替え者の便益計測を試みるものである．

2．応用都市経済(CUE)モデルの構造

2.1　モデルの前提条件

本モデルにおける基本的な前提条件を示す．

1) 本モデルでは，都市圏を対象とした地域を想定し，その地域はI個のゾーンに分割されているとする．

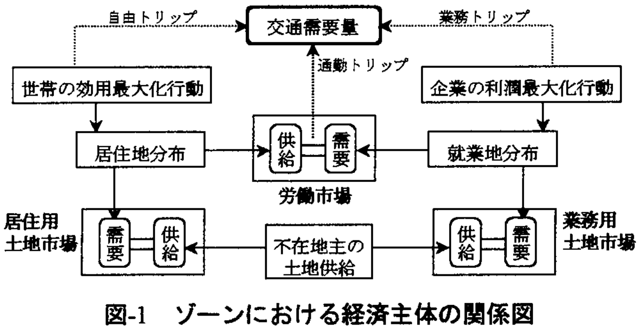

図-1　ゾーンにおける経済主体の関係図

*　キーワード：応用都市経済モデル，便益定義

*2 正会員　博(工)　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:058-230-1248)
*3 正会員　博(工)　東京工業大学助教授
工学部開発システム工学科
*4 正会員　博(工)　岐阜大学講師 工学部土木工学科
*5 正会員　修(工)　株式会社ライテック 社会調査・計画室

2) 分割された一つのゾーンには，世帯，従業者一人あたりで捉えた企業，不在地主が存在する．また，都市圏全体で一つの政府が存在する(図-1).
3) 市場は，土地市場のみを考える．なお，土地は居住用と業務用と区別して扱う．

2.2 立地者の行動モデル

本モデルでは，立地者として世帯と企業を考える．立地者は，立地選択行動と経済活動，交通行動を行う．以下では，それぞれについて定式化を示す．

（1）立地均衡モデル

世帯の立地選択行動

世帯は，どのゾーンに居住するのかをその時々で選択する．この立地選択行動を，宮城 [9]により定義された選択の基本公式で表される効用の最大化問題として定式化する．すなわち，以下のような数理最適化問題により定式化できる．

$$S^H = \max_{P_i^H}\left[\sum_i P_i^H V_i^H - \frac{1}{\theta^H}\sum_i\left\{P_i^H \ln P_i^H\right\}\right] \qquad (1.a)$$

$$\text{s.t.} \ \sum_i P_i^H = 1 \qquad (1.b)$$

ただし，S^H：世帯の立地選択における最大期待効用値，P_i^H：ゾーンiの立地選択確率，i：ゾーンを表す添字，V_i^H：ゾーンiの世帯効用，θ^H：ロジットパラメータ．

式(1)を解くことにより，立地選択確率が以下のようにロジットモデルとして得られる．

$$P_i^H = \frac{\exp \theta^H V_i^H}{\sum_i \exp \theta^H V_i^H} \qquad (2)$$

さらに，式(2)を式(1)の目的関数に代入すると，立地選択における最大期待効用値が求められる．

$$S^H = \frac{1}{\theta^H}\ln\sum_i \exp\theta^H V_i^H \qquad (3)$$

式(3)のV_i^H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と，その財消費行動は以下のように定式化できる．

$$V_i^H = \max_{z_i,a_i,x_i,s_i} U_i^H(z_i,a_i,x_i,s_i) \qquad (4.a)$$

$$\text{s.t.} \ z_i + r_i a_i + q_i x_i + w s_i = w\left[T - \frac{\sum_{j\in I} n_{ij} t_{ij}}{N_i}\right] + y_i \qquad (4.b)$$

ただし，U_i^H：ゾーンiの世帯の直接効用関数，z_i：価格を1とした合成財の消費量，a_i：土地消費量，x_i：自由トリップ消費量，s_i：余暇消費量，r_i：地域iの居住用地代，q_i：自由トリップの一般化価格，w：就業者一人あたりの賃金率(外生変数)，T：総利用可能時間，y_i：ゾーンiに居住する世帯の配当所得，n_{ij}：ゾーンiに居住しゾーンjで就業する世帯数，t_{ij}：ij間の交通所要時間，N_i：ゾーンiの世帯数．

式(4.b)は，時間概念を考慮した一般化された総所得制約を表している．労働時間は特に明示的に表していないが，総利用可能時間Tから余暇，平均的通勤時間，自由トリップの平均交通所要時間を差し引いたものと解釈できる．また，自由トリップの一般化価格は，式(4.b)ではゾーンiにおける平均的一般化価格として示すにとどめ，後述の交通均衡モデルにおいて導出する．

式(4)を解くと，以下のように各消費量が求められる．

合成財消費：$z_i = z_i(r_i, q_i, I_i)$ (5.a)

居住用土地消費：$a_i = a_i(r_i, q_i, I_i)$ (5.b)

自由トリップ消費：$x_i = x_i(r_i, q_i, I_i)$ (5.c)

余暇消費：$s_i = s_i(r_i, q_i, I_i)$ (5.d)

ただし，I_i：世帯の総所得$\left(= w\left[T - \sum_{j\in I} n_{ij} t_{ij} \big/ N_i\right] + y_i\right)$．

また，式(5)を式(4)の目的関数に代入することにより間接効用関数も求められる．

$$V_i^H = V_i^H(r_i, q_i, I_i) \qquad (6)$$

これを式(2)に代入することにより居住地の立地選択確率が決定される．

企業の立地選択行動

企業の立地選択行動も基本的には世帯のそれと同様に定式化できる．ただし，世帯では効用最大化行動として定式化した部分を，企業では利潤最大化行動として定式化する．よって，式(2)におけるV_i^Hは企業利潤Π_i^Fに置き換えられる．その結果，企業の立地選択確率が以下のように求められる．

$$P_i^F = \frac{\exp \theta^F \Pi_i^F}{\sum_i \exp \theta^F \Pi_i^F} \qquad (7)$$

ただし，P_i^F：ゾーンiの立地選択確率，Π_i^F：ゾーンiの企業利潤，θ^F：ロジットパラメータ．

式(7)の企業利潤Π_i^Fは，以下の企業の生産行動モデルより導かれる．すなわち，企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と，その生産行動は以下のように定式化できる．

$$\Pi_i^F = \max_{A_i,X_i}\left[Z_i - R_i A_i - Q_i X_i - wL_i - \frac{\sum_{j\in I} n_{ij} p_{ij}}{E_j}\right] \qquad (8.a)$$

$$\text{s.t.} \ Z_i = Z_i(A_i, X_i) \qquad (8.b)$$

ただし，Z_i：合成財生産量，A_i：土地投入量，X_i：業務トリップ投入量，R_i：業務用地代，Q_i：業務トリップの一般化価格，L_i：労働投入量，p_{ij}：ij間の通勤費用，E_j：ゾーンjの就業者数．

本モデルでは，通勤費用は企業が負担しているとしている．

式(8)を解くことにより，以下のように各投入量および生産量が得られる．

業務用土地消費：$A_i = A_i(R_i, Q_i)$ (9.a)

業務トリップ消費：$X_i = X_i(R_i, Q_i)$ (9.b)

合成財生産量：$Z_i = Z_i(R_i, Q_i)$ (9.c)

また，式(9)を式(8)の目的関数に代入することにより利潤関数が求められる．

$$\Pi^Z_{a,i} = \Pi^Z_{a,i}(R_i, Q_i) \tag{10}$$

さらに，これを式(7)に代入して業務地の立地選択確率が決定される．

（2）交通均衡モデル

交通行動モデルは，式(5.c)において導出された自由トリップおよび式(9.b)において導出された業務トリップの目的地・機関分担・経路選択に対し，それぞれの選択確率を求める問題と考えればよい．これは，以下のような数理最適化問題として表現できる．

$$S^D = \max_{\Phi^K_{ij,k,r}, \Phi^S_{ij,k}, P^D_{ij}} \left[\sum_j ZH^D_j\left(\Phi^K_{ij,k,r}, \Phi^S_{ij,k}, P^D_{ij}\right) - \frac{1}{\theta^D}\sum_j \left\{P^D_{ij} \cdot \ln P^D_{ij}\right\} \right] \tag{11.a}$$

$$\text{s.t.} \sum_j P^D_{ij} = 1, \sum_k \Phi^S_{ij,k} = P^D_{ij}, \sum_r \Phi^K_{ij,C,r} = \Phi^S_{ij,C},$$
$$\Phi^K_{ij,C,r} \geq 0, \ x_a = \sum_j \sum_r X_{ij,C}\Phi^K_{ij,C,r}\delta_{ij,ar} \tag{11.b}$$

ここで，

$$ZV^D_j = \sum_k ZH^S_k - \frac{1}{\theta^S}\sum_k \left\{\Phi^S_{ij,k} \cdot \ln\frac{\Phi^S_{ij,k}}{P^D_{ij}}\right\} \tag{12.a}$$

$$ZV^S_k = \sum_r ZH^K_r - \frac{1}{\theta^K}\sum_r \left\{\Phi^K_{ij,k,r} \cdot \ln\frac{\Phi^K_{ij,k,r}}{\Phi^S_{ij,k}}\right\} \tag{12.b}$$

$$ZH^K_r = -\Phi^K_{ij,C,r}\, p_{ij,C} - w\sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega)d\omega \tag{12.c}$$

ただし，P^D_{ij}：目的地jの選択確率，$\Phi^S_{ij,k}$：交通機関kの選択確率，$\Phi^K_{ij,C,r}$：自動車交通$(k=C)$の経路rの選択確率，x_a：リンクaの自動車交通量，$X_{ij,C}$：ij間の自動車交通量，$\delta_{ij,ar}$：リンク－経路接続行列，$p_{ij,C}$：自動車交通の所要費用，t_a：リンクaの自動車交通所要時間，$\theta^D, \theta^S, \theta^K$：ロジットパラメータ．

式(11)の目的関数は，目的地選択に関する選択の基本公式を表しており，その中に組み込まれているZV^D_j, ZV^S_kはそれぞれ交通機関選択，経路選択に関する選択公式を表している．また，ZH^K_rの第一項は交通トリップの期待価格，第二項は利用者均衡配分モデルにおけるリンクコスト関数積分形を表している．式(11)を解くと，各段階での選択確率がそれぞれ以下のように求められる．

【目的地jの選択確率】

$$P^D_{ij} = \frac{\exp\left[\theta^D \cdot S^S_{ij}\right]}{\sum_j \exp\left[\theta^D \cdot S^S_{ij}\right]} \tag{13.a}$$

ただし，$S^S_{ij} = \frac{1}{\theta^S}\ln\sum_k \exp\left[\theta^S \cdot S^K_{ij,k}\right]$ (13.b)

$$S^K_{ij,k'} = -q^K_{ij,k'}, \quad S^K_{ij,C} = \frac{1}{\theta^K}\ln\sum_r \exp\left[\theta^K q^K_{ij,C,r}\right] \tag{13.c}$$

$$q^K_{ij,C,(r)} = p_{ij,C} + w \cdot t_{ij,C,(r)} \tag{13.d}$$

【交通機関kの選択確率】

$$P^S_{ij,k} = \frac{\exp\left[\theta^S \cdot S^K_{ij,k}\right]}{\sum_k \exp\left[\theta^S \cdot S^K_{ij,k}\right]} \tag{14}$$

【経路rの選択確率】

$$P^K_{ij,C,r} = \frac{\exp\left[-\theta^K \cdot q^K_{ij,C,r}\right]}{\sum_r \exp\left[-\theta^K \cdot q^K_{ij,C,r}\right]} \tag{15}$$

このうちS^S_{ij}は，交通機関選択における最大期待効用値を表している．また$S^K_{ij,k}$は，交通機関kを公共交通$(k=k')$と自動車交通$(k=C)$の二種類とし，公共交通についてはその一般化価格によって，自動車交通については経路選択における最大期待効用値によって表す．$q^K_{ij,k,(r)}$は交通機関kの一般化価格である．

式(11)の最適化問題に付随して，自由トリップおよび業務トリップに関する一般化価格q_iおよびQ_iが求められる．

$$q_i = \sum_j q^D_{ij}\exp\left(S^S_{ij} - S^D_i\right) \tag{16.a}$$

ただし，$q^D_{ij} = \sum_k q^S_{ij,k}\exp\left(S^K_{ij,k} - S^S_{ij}\right)$ (16.b)

$$q^S_{ij,k} = \sum_r q^K_{ij,C,r}\exp\left(-q^K_{ij,C,r} - S^K_{ij,C}\right) \tag{16.c}$$

2.3 通勤トリップ分布

前節では，自由トリップおよび業務トリップについてのモデル化を行った．交通トリップに関しては，通勤トリップも重要な位置を占める．ここでは，通勤トリップ分布の導出を示す．

立地均衡モデルにおける式(2)および式(7)より，ゾーンiの世帯数N_iおよびゾーンjの企業の就業者数E_iが，それぞれ次のように得られる．

$$N_i = P^H_i N^T \tag{17.a}$$

ただし，N^T：総世帯数 (固定).

$$E_j = P_j^F E^T \qquad (17.b)$$

ただし，E^T：総従業者数 (固定).

通勤トリップは，世帯数N_iを発生量，従業者数E_jを集中量と考えて，通常の分布交通量を求める問題として扱うこととする．そこで，二重制約型重力モデル[10]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．

$$n_{ij} = \mu_i N_i \cdot \nu_j E_j \cdot q_{ij}^{-\rho} \qquad (18.a)$$

$$\mu_i = \frac{1}{\sum_j \nu_j E_j \cdot q_{ij}^{-\rho}}, \nu_j = \frac{1}{\sum_i \mu_i N_i \cdot q_{ij}^{-\rho}} \qquad (18.b)$$

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．

2.4 不在地主の行動モデル

不在地主は，以下のような土地供給関数に基づき土地の供給を行うものとする．土地は，居住用と業務用とを区別して扱っているが，定式化は同じであるので居住用の土地に関してのみの供給関数を示す．

$$a_i^S = \overline{a_i^S}\left(1 - \frac{\sigma_i}{r_i}\right) \qquad (19)$$

ただし，a_i^S：居住用土地供給量，$\overline{a_i^S}$：居住用土地供給可能容量，σ_i：パラメータ．

2.5 均衡条件

（1）立地均衡条件

世帯の立地選択確率は式(2)にて表される．よって，立地均衡条件は以下のようになる．

$$N^T = \sum_i N_i \qquad (20.a)$$

ただし，　$N_i = N^T P_i^H$

また，企業の立地選択確率は式(7)にて表されるので，その立地均衡条件は以下のようになる．

$$E^T = \sum_j E_j \qquad (20.b)$$

ただし，　$E_j = E^T P_j^F$

（2）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．土地は，居住用と業務用とを区別してモデル化を行ったため，以下のように市場均衡条件が表される．

$$居住用土地市場：a_i^S(r_i) = N_i a_i(r_i) \qquad (21.a)$$

$$業務用土地市場：A_i^S(R_i) = E_i A_i(R_i) \qquad (21.b)$$

ただし，A_i^S：業務用土地供給量．

労働市場に関しては，本モデルでは賃金率を固定としており，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，通勤トリップを二重制約型重力モデルを用いて定式化したことにより，世帯は居住地や就業地を変更することが可能であり，これをもって本研究では労働市場における均衡を代替的に表現しているものと考える．

3．立地変化を考慮した便益定義

続いて，前章で構築したCUEモデルを用いて，都市交通整備施策が実施された場合の便益定義を行う．ここでは，まず既往研究[5),6)]に基づき便益定義を行った後，立地変化を考慮した便益定義について説明を行う．

3.1 既往研究に基づく便益定義[5),6)]

既往研究では，便益定義には等価的偏差(Equivalent Variation: EV)の概念が用いられている．さらに，本モデルのようなゾーンを明示的に組み入れた経済モデルに対し，ゾーンに限定されずどこでも同じ値をとるように定義される非限定EV(Non Contingent EV: NCEV)とゾーンごとに異なる値をとるように定義されるゾーン別EV(Zone Contingent EV: ZCEV)の二種類定義することが可能とされている．本研究でも，EVの概念を用いて便益を定義するとともに，既往研究による定義に従って各便益の定義を行う．

まず，非限定EV($NCEV$)は，地域全体の世帯の平均的な効用水準を表す最大期待効用値(式(3))を用いて，以下のように定義される．

$$\frac{1}{\theta^H}\ln\left[\sum_i \exp\theta^H V_i^H\left(r_i^A, q_i^A, I_i^A + NCEV\right)\right] = \frac{1}{\theta^H}\ln\sum_i \exp\theta^H V_i^{HB} \qquad (22)$$

ただし，A, B：整備なし，ありを表す添字.

これより得られる$NCEV$は，ゾーンに依存しないEVであり，これに総世帯数N^Tを乗じ，不在地主の利潤変化分を足すことにより非限定EVに基づく社会的純便益(SNB^N)が求められる．

$$SNB^N = N^T NCEV + \sum_i \Delta\pi_i^L \qquad (23)$$

ただし，π_i^L：ゾーンiの不在地主の利潤.

一方，ゾーン別EV($ZCEV_i$)は，ゾーンにおける世帯の効用水準を用いて定義される．すなわち，モデル中の式(6)において導出されたV_i^Hを用い，以下のように定義できる．

$$V_i^H\left(r_i^A, q_i^A, I_i^A + ZCEV_i\right) = V_i^{HB} \qquad (24)$$

$ZCEV_i$ は，ゾーンごとに定義できるため，整備が実施された場合の効果をゾーンごとに把握することが可能であり，結果として整備がどのゾーンにどれだけの便益をもたらしているのかを分析することができる．ただし，式(24)で定義される $ZCEV_i$ は一世帯あたりの便益額であり，これに人口を乗じることによってゾーン全体での便益を求める必要がある．しかし，既往研究ではこの部分について，特に明らかにされていなかった．

この場合，乗じる人口としては，整備なしの状態の人口か，整備ありの状態の人口の二種類が考えられる．まず，整備なしの人口を用いた場合，そのゾーンに移り住んできた人々に対しては何ら考慮されないことになる．一方，整備ありの人口を用いた場合には，そのゾーンに移り住んできた人々について考慮されることになるが，整備ありの均衡状態のみに着目することになるため，結果として過大あるいは過小評価になってしまう．この理由は，次節にて改めて明らかにする．

これに対し，本研究では $ZCEV_i$ に基づくゾーン別社会的純便益の定義をより厳密に行うことにより，住み替えを行う人が享受する便益についても考慮できることを明らかにする．

3.2　立地変化を考慮した便益定義

ここでは，都市交通整備が実施される過程を明示的に扱うため，整備なしの均衡状態から整備ありの均衡状態へと移行する経路が存在し，整備が進められることにより空間経済がその経路を移行していくものと考える．その上で，ゾーン i の総便益の定義を行うと，それは ZCEV の微小変化分 $dZCEV_i$ を用いて以下のように表される．

$$ZSNB_i = \oint_{\sigma:0\to1} \left[N_i(\sigma) dZCEV_i(\sigma) + d\pi_i^L(\sigma) \right] \qquad (25)$$

ただし，$ZSNB_i$ ：ゾーン i におけるゾーン別社会的純便益，π_i^L ：ゾーン i の不在地主の利潤．

式(25)の σ は，整備なしの均衡からありの均衡へ移行する経路において空間経済が存在している位置を表すダミー変数であり，$\sigma=0$ が整備なしの均衡，$\sigma=1$ が整備ありの均衡を表す．式(25)の線積分を実行した場合，立地世帯数が変化することに注意が必要である．なお，式(25)の第二項は，ゾーン i の不在地主の利潤変化を表している．

式(25)第一項を概念的に表したものが図-2 である．図-2 の点 A が整備なしの状態を，点 B は整備ありの状態を表す．そして，点 A と B を結ぶ矢印が，整備なしからありへと移行する経路を表すとする．この時，ZCEV が微小変化した状態，すなわち整備が微小に進行した状態を考えると，それに対応してゾーン i の人口 $N_i(\sigma)$ が求められるが，この $N_i(\sigma)$ は住み替えを行った人まで考慮されている．さらに，この $N_i(\sigma)$ がその時点で $ZCEV_i$ を享受する世帯と考えることができ，

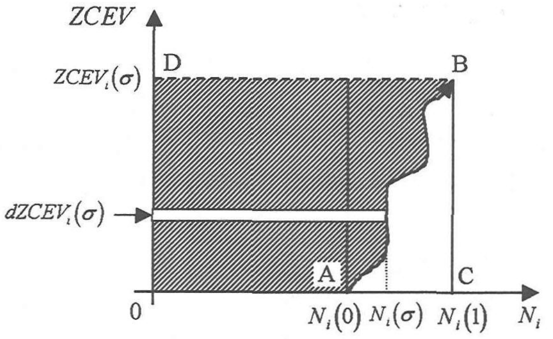

図-2　立地変化を考慮した便益定義の概念図

$N_i(\sigma) \times dZCEV_i$ をもって微小整備に対するゾーン別純便益が求められる．そして，σ を $0 \to 1$ まで線積分することで，整備なしからありの状態へ移行する過程全体において，住み替えを行った世帯を含め世帯が受け取るゾーン別純便益を求めることが可能となる．図-2 では，斜線で表された部分である．

こう考えると，前節でゾーン別純便益を求める際に，整備ありの状態の人口を用いる方法というのは，図-2 では，四角形 ODBC の面積を求めていることになるため，人口が増加するゾーンでは過大評価となることがわかる．

なお，数値計算において式(25)を線積分して直接求めることは困難であるため，点 A→B の経路を直線で近似し，ゾーン別社会的純便益を計測することとする．すなわち，式(25)は近似式として以下のように表される．

$$ZSNB_i = N_i(0) \cdot ZCEV_i + \frac{\Delta N_i(\sigma)}{2} \cdot ZCEV_i + \Delta\pi_i^L \qquad (26)$$

ただし，$\Delta N_i(\sigma) = N_i(1) - N_i(0)$．

4．数値シミュレーションによる便益計測

4.1　数値シミュレーションにおける設定

続いて，岐阜都市圏を対象に簡単な数値シミュレーション分析を行い，CUE モデルの適用可能性を示すとともに，本研究で定義した便益の計測を行う．

対象地域は岐阜市とし，ゾーン数は 9 ゾーンとする．岐阜市の概要は，岐阜市統計書[8]によると 1993 年時点で，人口 406,697 人，世帯数 128,510 世帯，従業人口 106,499 人，面積 196.2km^2 である．世帯数より従業人口が少ないのは，岐阜市以外の都市，特に名古屋で就業している人がいるためである．しかし，本分析では Closed City を想定することとし，総従業者人口と総世帯数を一致させる．これは，差分を各地域に比例的に配分することで処理を行った．

CUE モデルを実際に適用するためには，モデルの各関数形の特定化，データセットの作成，パラメータの設定を行う必要がある．

（１）関数形の特定化

関数形の特定化に関し，立地均衡モデルと交通均衡モデルは，ロジットモデルで既に特定化されている．よって，ここで特定化を必要とするものは，効用関数と生産関数と土地供給関数である．これらを表-1 のように特定化した．土地供給関数については，式(19)では厳密に定式化を行ったが，ここでは保有している土地は全て貸し出すものと考えた．また，効用関数，生産関数は，いずれも Cobb-Douglas 型にて特定化を行った．

表-1　経済主体の行動モデルの特定化

関数名	関数形
効用関数[式(5.a)]	$U_{a,i}^{Z} = z_i^{\alpha_z} a_i^{\alpha_a} x_i^{\alpha_x} s_i^{\alpha_s}$ ただし，$\alpha_z, \alpha_a, \alpha_x, \alpha_s$：分配パラメータ($\alpha_z + \alpha_a + \alpha_x + \alpha_s = 1$).
生産関数[式(10.b)]	$Z_i = m A_i^{\beta_A} X_i^{\beta_X}$ ただし，m：比率パラメータ， β_A, β_X：分配パラメータ．
不在地主の土地供給関数	$a_i^S = \overline{a_i^S}$

（２）データセットの作成

続いて，パラメータ設定のためのデータセットの作成を行う．ここでは，1993 年を基準年として各種データを収集した．

まず，交通データは，森杉・宮城[10]における総合例題での分布交通量データ，ゾーン間所要時間と所要費用のデータを利用した．これは，岐阜市の 9 ゾーン分割のデータであり，本研究での想定と同じであるからである．また，人口および土地面積，経済関係のデータについては，岐阜市統計書[11]から作成した．特に，経済行動モデルのパラメータ推定においては，岐阜市統計書の市民経済計算のデータを利用している．

（３）パラメータの設定

前節のデータセットの下でパラメータの設定を行う．CUE モデルは，大きく交通均衡モデル，経済主体の行動モデル，立地均衡モデルからなっており，本研究では，その順番で段階的にパラメータ設定を行った(図-3)．これは，経済関連データをゾーンごとに収集することが困難であり，そのため三種類のモデルに対し一貫したデータセットを作成することができず，パラメータの推定方法も交通モデルと立地選択モデルは最尤推定法，経済行動モデルはキャリブレーション手法といったように変えざるを得なかったためである．

まず，交通均衡モデルは，さらに，目的地選択，機関選択，配分分析の各段階に分かれるが，それぞれの段階ごとで最尤推定法によりロジットパラメータの推定を行った．こうして交通均衡モデルのパラメータが設定されれば，式(16)より交通の一般化価格が導出される．

次に，その交通一般化価格と経済データを用いて，世帯の効用関数と企業の生産関数のパラメータを設定する．ただし，経済関連のデータセットは，ゾーンごとで得られにくいというのが現状である．そこで，岐阜市全体であれば市民経済計算データにより比較的容易にデータ収集できることを考え，まず岐阜市全体において代表的主体を想定し，応用一般均衡理論においてしばしば適用されるキャリブレーション手法によりパラメータ設定を行い，そのパラメータをゾーン単位の主体に対しても適用することとした．これは，本モデルで世帯，企業ともそれぞれについては同質であることを仮定することにより，世帯の効用関数，企業の生産関数のパラメータがゾーンごと，さらに代表的主体に対しても同一となるとみなし得ると考えたことによる．こうして，効用関数，生産関数のパラメータが設定されることにより，世帯の効用水準，企業の利潤がゾーンごとに導出される．

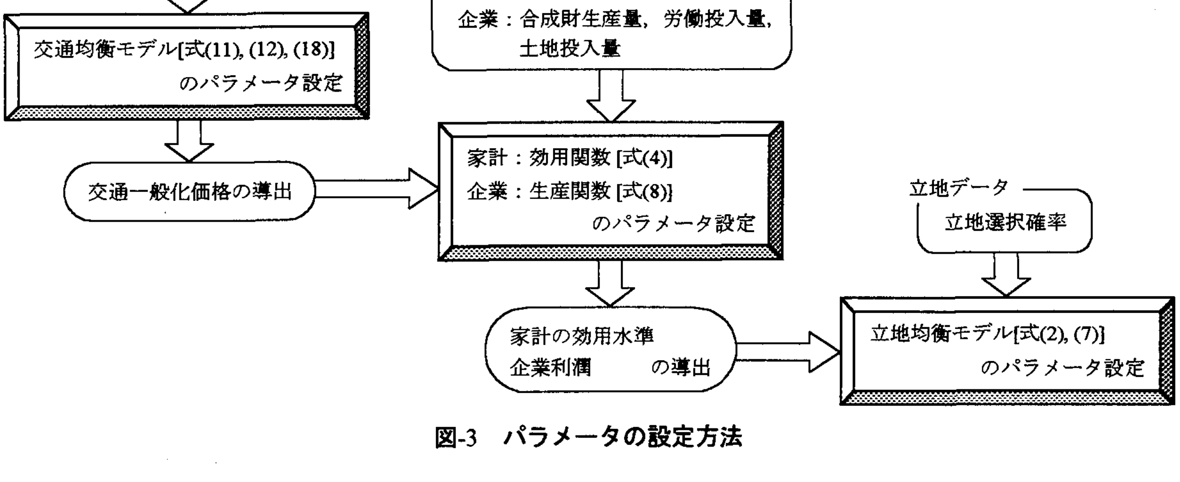

図-3　パラメータの設定方法

表-2 交通均衡モデルのロジットパラメータ推定結果

自由トリップ		業務トリップ	
所要時間	所要費用	所要時間	所要費用
0.00158	0.00016	0.00172	0.00016

表-3(a) 効用関数のパラメータ推定結果

合成財 α_z	土地 α_a	自由ﾄﾘｯﾌﾟ α_x	余暇 α_s
0.467	0.023	0.027	0.484

表-3(b) 生産関数のパラメータ推定結果

生産効率 m	土地 β_A	業務ﾄﾘｯﾌﾟ β_X
0.467	0.023	0.027

表-4 立地均衡モデルのロジットパラメータ推定結果

居住地 θ^H	業務地 θ^F
58.883	4.01×10^{-7}

この世帯の効用水準，企業利潤と人口データを用いて，立地均衡モデルのロジットパラメータの推定を行った．これも，最尤推定法を用いた．以上の方法により設定されたパラメータを表-2から4に示す．

なお，決定されたパラメータの推定精度については，本パラメータを用いることによる現況再現性，ここでは紙面の都合上，ゾーンごとの世帯数，従業人口の再現性を示すことにより明らかにする．CUEモデルから最終的に求められるものが，ゾーンごとの世帯数と従業人口であることを考えると，そのレベルでの再現性を示すことでモデル全体の精度をある程度示すことができると思われる．ここでは，精度指標として，相関係数および式(27)で表される不一致係数を用いた．その結果を表-5に示す．また，相関図を図-4に示した．

表-5 モデルの現況再現性

	相関係数	不一致係数
世帯数	0.977	0.086
従業人口	0.977	0.085

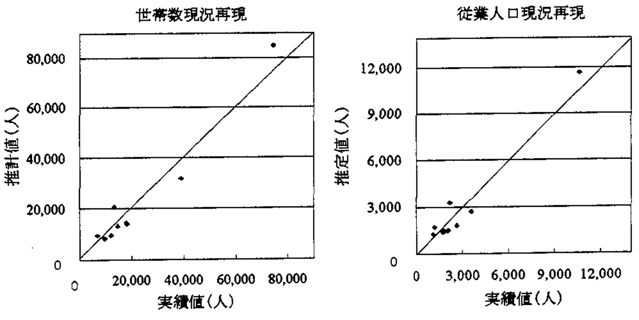

図-4 モデルの現況再現性(相関図)

$$U=\frac{\sqrt{\frac{1}{l}\sum_i\left(\overline{M}_i-M_i\right)^2}}{\sqrt{\frac{1}{l}\sum_i\overline{M}_i^{\,2}}+\sqrt{\frac{1}{l}\sum_i M_i^2}} \tag{27}$$

ただし，U：不一致係数，l：標本数，$\overline{M}_i$：実績値，M_i：推定値．

この結果，本モデルは，ほぼ現況を再現できていると考えられよう．

4.2 数値シミュレーション結果

(1) 都市交通整備施策の設定

ここでは，都市交通整備施策として新交通システムを導入した場合の便益評価を行った．対象路線は，ゾーン1−5−9とする．そして，新交通システムの導入に伴い，対象路線のゾーン1，5，9の交通一般化価格が表-6のように減少したものと設定して計算を行った．

図-5 岐阜市の全体図と対象路線

表-6 都市交通整備による交通一般化価格変化の設定

ゾーン	交通一般化価格(自由)			交通一般化価格(業務)		
	整備無	整備有	変化率	整備無	整備有	変化率
1	590	565	-4.21%	582	555	-4.62%
2	621	621	0%	626	625	0%
3	660	660	0%	642	641	0%
4	652	651	0%	633	632	0%
5	565	552	-2.31%	572	560	-2.03%
6	615	614	0%	622	621	0%
7	728	728	0%	747	747	0%
8	723	723	0%	733	733	0%
9	682	662	-2.93%	680	659	-3.12%
	(単位：円)			(単位：円)		

(2) 数値シミュレーション結果

前節の設定の下で行った数値シミュレーションの結果を示す．

表-7には，世帯に関わる結果として，世帯数，居住用土地消費量，居住地代，自由トリップ発生交通量の変化量を示した．また，表-8には，企業に関わる数値結果として，従業者数，業務用土地消費量，業務地代，

表-7　数値シミュレーション結果１[世帯]

ゾーン	世帯数(世帯)			居住用土地需要量			居住地代（円）			発生交通量[自由ﾄﾘｯﾌﾟ](ﾄﾘｯﾌﾟ/年)		
	整備無	整備有	変化率	整備無	整備有	変化率	整備無	整備有	変化率	整備無	整備有	変化率
1	48,926	49,867	1.92%	130	127	-1.89%	1,379	1,406	1.92%	17,250,751	18,355,951	6.41%
2	20,304	20,119	-0.91%	72	73	0.92%	2,470	2,447	-0.91%	6,794,502	6,738,043	-0.83%
3	20,902	20,709	-0.92%	79	80	0.93%	2,258	2,237	-0.92%	6,583,456	6,527,064	-0.86%
4	46,856	46,422	-0.93%	140	141	0.94%	1,276	1,264	-0.93%	14,951,822	14,823,028	-0.86%
5	17,384	17,487	0.59%	58	57	-0.59%	3,107	3,126	0.59%	6,395,164	6,585,299	2.97%
6	10,273	10,180	-0.91%	44	44	0.91%	4,051	4,014	-0.91%	3,474,691	3,446,564	-0.81%
7	8,989	8,902	-0.97%	52	52	0.98%	3,461	3,428	-0.97%	2,562,369	2,537,607	-0.97%
8	19,456	19,267	-0.97%	93	94	0.98%	1,910	1,891	-0.97%	5,583,569	5,529,795	-0.96%
9	13,505	13,642	1.02%	64	63	-1.01%	2,809	2,838	1.02%	4,111,628	4,278,696	4.06%
									計	67,707,952	68,822,047	1.65%

表-8　数値シミュレーション結果２[企業]

ゾーン	従業者数(人)			業務用土地需要量			業務地代（円）			発生交通量[業務ﾄﾘｯﾌﾟ](ﾄﾘｯﾌﾟ/年)		
	整備無	整備有	変化率	整備無	整備有	変化率	整備無	整備有	変化率	整備無	整備有	変化率
1	70,812	70,942	0.18%	1,419	1,393	-1.85%	782	795	1.75%	13,737,238	13,930,064	1.40%
2	18,451	18,435	-0.09%	593	597	0.70%	1,604	1,595	-0.58%	4,181,303	4,177,665	-0.09%
3	18,489	18,473	-0.09%	491	495	0.72%	1,909	1,897	-0.60%	2,761,199	2,757,399	-0.14%
4	40,697	40,634	-0.16%	829	839	1.21%	1,218	1,206	-1.00%	8,183,406	8,166,007	-0.21%
5	14,532	14,532	0.00%	982	981	-0.01%	1,048	1,049	0.09%	4,477,326	4,498,272	0.47%
6	9,582	9,573	-0.09%	602	605	0.51%	1,568	1,561	-0.42%	3,042,663	3,040,939	-0.06%
7	7,348	7,340	-0.11%	594	597	0.50%	1,576	1,570	-0.42%	2,128,461	2,126,608	-0.09%
8	14,178	14,158	-0.14%	1,386	1,396	0.69%	780	775	-0.57%	3,946,936	3,941,645	-0.13%
9	12,507	12,509	0.01%	310	309	-0.12%	2,726	2,732	0.22%	3,584,520	3,598,683	0.40%
									計	46,043,053	46,237,282	0.42%

表-9　便益計測結果１［世帯一人あたりの便益］

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ゾーン別EV (ZCEV)	5,550	1,820	1,800	1,800	3,810	1,830	1,740	1,740	4,360
非限定EV (NCEV)	3,030								

（単位：円/年）

表-10　便益計測結果２［社会的純便益］

ゾーン	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
$N_i^A \times ZCEV_i$	2.715	0.370	0.376	0.843	0.662	0.188	0.156	0.339	0.589	6.239
$\frac{\Delta N_i}{2} \cdot ZCEV_i$	0.026	-0.002	-0.002	-0.004	0.002	-0.001	-0.001	-0.002	0.003	0.020
*ZCEV*による総便益	2.742	0.368	0.374	0.840	0.664	0.187	0.156	0.337	0.592	6.259
不在地主の利潤変化	2.497	-0.326	-0.342	-0.765	0.298	-0.162	-0.155	-0.334	0.254	0.965
ゾーン総便益	5.239	0.041	0.033	0.075	0.962	0.025	0.001	0.003	0.846	7.224

（単位：億円/年）

業務トリップ発生交通量の変化量を示した．

この結果によれば，整備対象路線の 1, 5, 9 ゾーンにおいて，交通所要時間の短縮により魅力が高まり，世帯，企業ともそのゾーンの立地数が増加している．この立地増の影響により，1, 5, 9 ゾーンの各主体の土地需要が高まるため，居住，業務ともに地代が上昇している．そして，地代が上昇すると主体の立地変更に抑制がかかるというプロセスを経て，均衡状態に達した結果が表-7, 8 の結果ということになる．

また，主体の立地数の増加は，交通の発生量にも影響を与える．整備対象路線の 1, 5, 9 ゾーンでの発生交通量が増加していることは当然のことであるが，整備対象路線以外のゾーンでは，世帯数，従業者数が減少しているため，交通量の発生も減少する結果となっている．しかし，岐阜市全体でみると，整備による誘発交通により，自由トリップで 1.65%，業務トリップで 0.42%の発生交通量の増加がみられる．

（３）便益計測結果

本整備に対する便益の計測結果を示す．まず，表-9 には，世帯一人あたりのゾーン別 EV(ZCEV)および非限定 EV(NCEV)の計測結果を示した．これによると，

整備対象路線の1, 5, 9ゾーンでは，ZCEVがNCEVを上回り，他のゾーンでは下回っていることがわかり，よって，1, 5, 9ゾーンに多くの便益が帰着している構造が把握できる．

筆者らの既往の研究[12]では，CUEモデルに基づく便益帰着構成表の作成を行っており，それによれば，整備対象地域では，便益項目として整備による時間短縮効果と地代変化による影響の二項目に，それ以外のゾーンでは地代変化のみによる影響に整理できることが示されている．これに基づけば，1, 5, 9以外の非対象ゾーンでは，表-7の結果から地代が下がっているため，それによる余剰の増分が計測されているものと考えられる．一方，1, 5, 9ゾーンでは，逆に地代が上がっているため，地代変化による影響は損失を生むが，それを賄う時間短縮による余剰が発生しているものと考えられる．

続いて，表-10には，3章で示したZCEVに基づくゾーン別社会的純便益の計測結果を示した．表-10では，第一行に$ZCEV_i$に対し整備なしの人口N_i^Aを乗じたもの，そして第二行に人口変化分に対する便益値という形で，式(25)で定義されたゾーン別社会的純便益の内訳を示した．そして，第四行目に不在地主の利潤変化を示し，それらの合計としてゾーン別社会的純便益を求めた．その結果，整備による効果は，対象路線である1, 5, 9ゾーンのみに帰着することがわかる．結局，非対象路線ゾーンでは，地代による影響が世帯と不在地主との間でキャンセルアウトされている．

また，式(23)にて示されたNCEVに基づく社会的純便益を求めたところ，7.2(兆円/年)となり，表-10のゾーン別社会的純便益の合計値とほぼ同額となった．これらの値が一般的にも一致するかどうかは，解析的な分析を行う必要があるが，ここでは，ゾーン別社会的純便益を厳密に定義したことにより，ゾーン別の便益帰着状況について，住み替えを行った人も考慮に入れて評価することを可能とした点が成果であるといえる．

5．結　論

本研究では，従来，土地利用－交通モデルあるいは交通－立地モデルと呼ばれて研究が進められてきたものを，都市経済モデルに理論的基礎を置きさらに計算可能性という部分に焦点を当てた応用都市経済(CUE)モデルとして再構築を行った．そして，それを実際に岐阜都市圏での都市交通整備施策の便益評価に適用することで，その有用性を明らかにした．

さらに本研究では，CUEモデルによる便益定義において，住み替えを行った主体についても考慮した便益定義について検討を行った．空間経済における便益定義については，上田[5]，髙木[6]による研究が存在し，そこではゾーンによらずどこでも同じ値をとるように定義される非限定EV(NCEV)と，ゾーンごとに異なる値をとるように定義されるゾーン別EV(ZCEV)の二種類定義できることが示されている．特に，ゾーンごとでの帰着便益が把握できるZCEVが特徴的であるといえるが，これを用いてゾーンごとに総便益を求めるという点が十分に検討されておらず，住み替えを行った人々の便益をどのように扱うかという点も不明瞭であった．そこで，本研究では，整備が実施される過程を明示的に扱って便益定義を行うことにより，住み替えた人々を考慮したゾーン別社会的純便益の定義を示し，実証分析を通してその数値計算も行った．これにより，社会的純便益のレベルにおいても，地域ごとの便益帰着構造を把握することが可能となった．

今後の課題としては，まず，NCEVに基づく社会的純便益とZCEVに基づくゾーン別社会的純便益の合計値とがどのような関係になっているのかを明らかにする必要がある．そのためには，便益帰着分析による解析的な分析が必要といえる．また，モデルの動学化を行うことも重要な課題といえる．本研究で示したCUEモデルは，静学の枠組みであり，特に利用可能土地面積が固定的に扱われている．中小都市圏では郊外化が進んでいることを考えると，本モデルを動学化した上で，ストックとして土地を捉え，ストック変化についても考慮できるフレームが必要といえる．

【参考文献】

1) 上田孝行，堤盛人(1999)：わ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，No.625/IV-44，pp.65-78.
2) Anas, A.(1984): 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 A*, Vol. 16, pp.1489-1502.
3) Morisugi, H. and E. Ohno (1992): A Benefit Incidence Matrix for Urban Transport Improvement, *Papers in Regional Science: The Journal of the RSAI*, Vol. 71, No. 1, pp.53-70.
4) 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.
5) 上田孝行(1997)：防災投資の便益評価，土木計画学研究・論文集，No.14，pp17-34.
6) 髙木朗義(1996)：防災投資の便益評価手法に関する研究，岐阜大学博士学位論文.
7) 宮城俊彦・奥田豊・加藤人士(1995)：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.
8) 森杉壽芳・大野栄治・宮城俊彦(1991)：住環境整備による住み替え便益の定義と計測モデル，土木学会論文集

No.425/IV-14, pp.117-125.
9) 宮城俊彦(1995)：ネスティド・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.
10)森杉壽芳，宮城俊彦(1996)：都市交通プロジェクトの評価，コロナ社，pp.55-57.
11)岐阜市企画部事務管理課(1996)：平成8年度岐阜市統計書，岐阜市企画部事務管理課.
12)Takagi, A., S. Muto and T. Ueda (1999): The Benefit Evaluation of Urban Transportation Improvements with Computable Urban Economic Model, '99 Shanghai International Symposium on Urban Transportation Proceedings, pp.87-99.

応用都市経済モデルによる立地変化を考慮した便益評価に関する研究

武藤慎一，上田孝行，髙木朗義，冨田貴弘

都市交通の整備を評価するためには，交通体系に及ぼす影響だけなく立地変化に及ぼす影響も考慮する必要がある．本研究では，従来の土地利用ー交通モデルあるいは交通立地モデルを，都市経済理論に理論的基礎をおき，実証分析への適用を意図した応用都市経済(CUE)モデルとして再構築した．CUEモデルでは，便益を定義することが可能であり，特にゾーンごとに便益を計測することができるという特徴を有している．この点は，既往研究でも示されていたが，そこではゾーン全体での便益を計測するという点での検討が十分になされておらず，住み替えを行った人々の便益の扱いも不明瞭であった．そこで，本研究では，整備が実施される過程を明示的に扱って便益定義を行うことにより，住み替えを行った人々についても考慮し得るゾーン別社会的純便益の定義を行った．そして，数値計算結果についても明らかにし，整備による便益の地域別帰着構造を明らかにした．

The Benefit Evaluation Considering the Relocating Sectors with Computable Urban Economic Model

By Shinichi MUTO, Taka UEDA and Akiyoshi TAKAGI, Takahiro TOMITA

It is necessary to evaluate the exerted impacts not only to the transport system but also to the change of location pattern, when we measure the benefit for transport improvements. In this paper, we proposed the computable urban economic model, which is based on the urban economic model and is intended to apply to the practical analysis. By using this model, the zone contingent benefits are possible to be defined when the benefit is evaluated. Though the idea of this benefit definition has been argued, the benefit definition for the relocating sectors has not been cleared enough. So we showed the benefit definition for the relocating sectors by utilizing the operating path of the project, and we are able to grasp the incidence structure of zone contingent benefits.