

都市内交通基盤整備評価のための CUEモデルの開発

武藤 慎一¹・宮下 光宏²・右近 崇²・水谷 洋輔²・猪狩 祥平³

¹正会員 山梨大学准教授 大学院総合研究部工学域 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)
E-mail:smutoh@yamanashi.ac.jp

²正会員 三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部
(〒461-8516 名古屋市東区葵1-19-30 マザックアートプラザ)

³正会員 アジア航測株式会社 コンサルタント事業部
(〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺1-2-2 新百合トウエンティワン)

都市内交通基盤整備の評価では、費用便益分析マニュアルが整備され、定着しつつある。しかし、それらの立地等への影響の考慮や、地域帰着便益の分析などが行えないとの問題があった。これに対し、空間的応用一般均衡分析や応用都市経済分析が有効とされてきた。本研究では、立地変化まで考慮できる応用都市経済モデルを用いた都市内交通基盤整備を実施することにしたが、応用都市経済モデルは一般均衡体系となっていないため、土地市場以外への影響が考慮できないとの問題があった。そこで、本研究では一般均衡へ拡張したCUEモデルの提案を行った。

Key Words : *transport facilities, location choice, computable urban economic model, effect evaluation*

1. はじめに

わが国では、公共事業評価に対し費用便益マニュアルが整備され、定着してきている。それらは、社会基盤施設整備の直接的な効果を中心に評価が行われている。しかし、実際の整備効果は交通施設整備による交通費用の低下に代表される直接効果だけではなく、長期的には、家計や企業の立地変化が生じ、雇用が創出され、地域の生産や所得の拡大といった間接効果が生じる。現在では、これら間接効果まで含めて便益計測を行うとの考えが高まり、数多くの分析手法が研究されてきた。その中でも人口、雇用、企業の生産額、家計の消費額、土地利用面積、価格等の経済統計数値を用い、国・都道府県・地域・ゾーン(地区)といった単位まで分析可能な空間的応用一般均衡 (SCGE : Spatial Computable General Equilibrium) モデルと応用都市経済 (CUE : Computable urban economic) モデルは、公共事業評価において、地域の帰着便益や、経済主体 (家計、企業等) ごとの影響を定量的に計測することができ有効とされている。

SCGE モデルと CUE モデルは、ともにミクロ経済学の基礎の上に構築されており、市場で取引される財の需要関数と供給関数の交点で求められる均衡解を用いる均

衡理論の概念のもとに組み立てられている。そのため、指標として定着している費用便益分析とも理論的に整合しており、便益の算定に用いる事も可能である¹⁾。しかし、それぞれのモデルには次の性質がある。SCGE モデルは、一般均衡体系になっているが、対象地域として最も詳細な地域区分でも都道府県単位までが通常は限界であり、市町村やそれ以下のゾーンではほとんど分析がされていない。CUE モデルは、対象地域として市町村単位以下の地域を対象としているが、土地市場のみが均衡とした部分均衡 (多市場同時均衡) モデルであり、このため便益計測においては土地市場以外の市場における影響が考慮されていない点で問題があると指摘されている²⁾。

本研究では、一般均衡型の CUE モデルを開発することにより、CUE モデルが有していた便益計測に係わる課題の解決を図った上で、地域に暮らす住民と住民が必要とする都市施設との関係を定量的に計測し、特に都市内交通基盤の整備評価が行えるモデルを構築することを目的とする。

表-1 CUEモデルとSCGEモデルの特長

	応用都市経済 (CUE) モデル	空間的応用一般均衡 (SCGE) モデル
共通	「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	
メリット	市町村以下の細目ゾーンでの計算も可能。	企業、世帯などの経済主体の合理的行動理論を考慮し、全ての市場における均衡を仮定した一般均衡体系のモデルである。
デメリット	土地市場と交通市場における均衡を仮定した部分均衡体系の経済モデルであり、他の財市場における均衡は正確にはみれていない。	都道府県単位での分析が主となり、細目ゾーンには向いていない

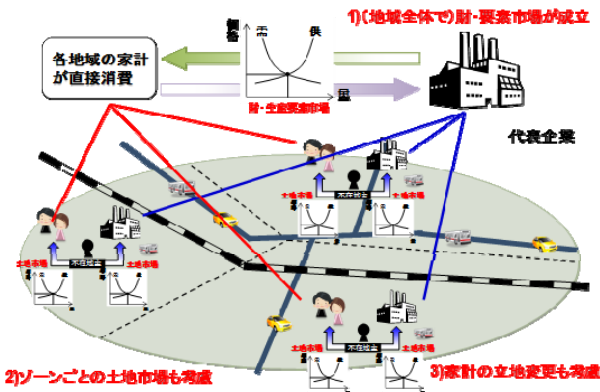


図1 山梨県の人口と高齢化率の推移

2. 応用都市経済 (CUE) モデルの概要

(1) CUEモデルに関する既存研究の整理

CUEモデルの原形といえる土地利用・交通モデルは、1980年代より土木計画学の分野では精力的に研究がなされ、数多くの研究成果を生んできた(例えば、中村²⁾、中村、林、宮本等³⁾)。しかし、上田⁴⁾、上田⁵⁾は土地利用・交通モデルはミクロ経済学的基礎に基づかないため便益計測が行えない点で問題があると指摘していた。そこで武藤・上田・高木⁶⁾ではミクロ経済学基礎に基づき土地利用・交通モデルを再定式化し、便益が正確に算出できるCUEモデルを開発した。その後、武藤等^{7) 8) 9)}、山崎^{10) 11)}、堤¹²⁾等によって実用的分析などへも積極的な適用がなされている。しかし、堤、小池ら¹³⁾による指摘では、CUEモデルは部分均衡モデルであり、便益計測においては土地市場以外の市場における供給制約が考慮されていないという点が問題であると指摘されていた。

SCGEモデルとCUEモデルの特徴をまとめると表-1のようになる。これよりSCGEモデルは原則として都道府県単位より小さな地域区分での適用が困難であるという問題、一方、CUEモデルは一般均衡体系ではないため便益が正確には計測できないことが問題であった。後者の問題は、例えばある地域に整備がなされた場合、家計は整備された交通を利用して買い物や観光に出かけ、出かけた先でものやサービスの購入を行う。こうして家計が

より多くのもやサービスを欲する場合、それを生産して供給しなければ家計はものやサービスの消費が行えない。従来のCUEモデルは、必ずしも財市場の成立を求めておらず、そのため企業によってものやサービスがより多く供給されなくても、家計はこれを消費でき、その結果効用が高まるという現象が生じていた。すなわち便益が過大に評価されていた可能性がある。

本モデルでは、対象地域を細目ゾーンとした一般均衡体系にしたCUEモデルを構築する。

(2) CUEモデルの全体構造

図-1は、本CUEモデルの全体構成を示すイメージ図である。本モデルのゾーンはCUEモデルと同じ、市町村以下の地域を対象とする。各ゾーンには、不動産企業が存在し、この不動産企業は土地サービスを供給する主体である。また、各ゾーンには代表家計と各産業の代表企業が存在し、財・サービスは市場を通じてやりとりされるものとなっている。これはSCGEモデルと基本は同じであるが、合成財企業に関しては、対象地域全体で1つ存在するものとした。一方、商業やサービス業は家計がトリップを発生させその地域で消費する。そこで、これらのサービスはその地域ごとに市場が存在するものとした。労働はゾーンごとに市場が存在しているとし、資本は地域全体で一つの市場が存在しているとする。

モデルの基本的な前提条件は次の通りである。

- 1) 本モデルの対象とする社会はPT調査などで対象とされる詳細ゾーンからなるものとする。
- 2) 家計は効用水準一定下での支出最小化行動、企業は費用最小化行動をとるものとする。

(3) CUEモデルの定式化

a) 家計の行動モデル

家計はゾーンごとに存在する代表的家計を仮定する。家計は所得制約の下で、合成財、土地、合成余暇を消費する(図-2)。所得には一定の所得税率と貯蓄率が掛けられているものとし、具体的には以下ようになる。

$$\Omega_H^j = (w^j L_H^j + r^j K_H^j) (1 - \tau_H^j) (1 - \kappa_H^j) \quad (1)$$

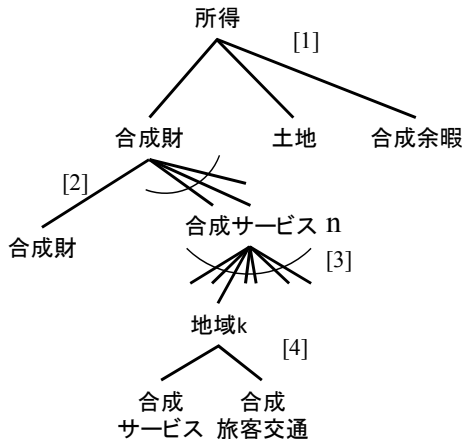


図-2 家計の行動ツリー

ただし、 Ω_H^j : 家計所得, L_H^j : 地域jの家計の労働供給量, w^j : 地域jの賃金率, K_H^j, r^j : 地域jの家計の初期資本保有量と資本利子率, τ_H^j : 直接税率, κ_H^j : 貯蓄率.

次に家計は、合成財について合成財と合成サービスの消費量を決定する。合成サービスについては、サービスを消費する地域kの選択を行う。その際、合成旅客交通投入を行うとして、地域選択には交通利便性も考慮するものとする。

これらの消費行動モデルを、Barro型CES関数にて定式化される効用水準を一定水準に維持するとの条件下で、支出最小化行動をとるものとして定式化する。

[1]合成財, 土地, 合成余暇の決定

1)支出最小化問題

$$p_U^j U_H^j = \min_{z_{GH}^j, x_{LH}^j, l_H^j} [q_{GH}^j z_{GH}^j + p_{LH}^j x_{LH}^j + w^j l_H^j] \quad (2a)$$

$$\text{s.t. } U_H^j = \gamma_H^j \left[\alpha_{GH}^j \left\{ \beta_{GH}^j z_{GH}^j \right\}^{\frac{\sigma_H^j - 1}{\sigma_H^j}} + \alpha_{LH}^j \left\{ \beta_{LH}^j x_{LH}^j \right\}^{\frac{\sigma_H^j - 1}{\sigma_H^j}} + \alpha_{SH}^j \left\{ \beta_{SH}^j l_H^j \right\}^{\frac{\sigma_H^j - 1}{\sigma_H^j}} \right]^{\frac{\sigma_H^j}{\sigma_H^j - 1}} \quad (2b)$$

ただし、 $z_{GH}^j, x_{LH}^j, l_H^j$: 地域jの家計の合成財消費量, 土地 (不動産サービス) 消費量, 余暇消費量, q_{GH}^j : 合成財価格, p_{LH}^j : 土地サービス価格 (地代), U_H^j : 地域jの家計効用水準, σ_H^j : 代替弾力性パラメータ, $\alpha_{mH}^j, \beta_{mH}^j, \gamma_H^j$: パラメータ, m : 添字G, L, Sを表す.

2)需要関数

$$z_{GH}^j = \frac{1}{\gamma_H^j (\beta_{GH}^j)^{1-\sigma_H^j}} \left(\frac{\alpha_{GH}^j}{q_{GH}^j} \right)^{\sigma_H^j} \Psi_H^j \frac{\sigma_H^j}{1-\sigma_H^j} U_H^j \quad (3a)$$

$$x_{LH}^j = \frac{1}{\gamma_H^j (\beta_{LH}^j)^{1-\sigma_H^j}} \left(\frac{\alpha_{LH}^j}{p_{LH}^j} \right)^{\sigma_H^j} \Psi_H^j \frac{\sigma_H^j}{1-\sigma_H^j} U_H^j \quad (3b)$$

$$l_{SH}^j = \frac{1}{\gamma_H^j (\beta_{SH}^j)^{1-\sigma_H^j}} \left(\frac{\alpha_{SH}^j}{w^j} \right)^{\sigma_H^j} \Psi_H^j \frac{\sigma_H^j}{1-\sigma_H^j} U_H^j \quad (3c)$$

ただし,

$$\Psi_H^j = (\alpha_{ZH}^j)^{\sigma_H^j} \left(\frac{q_{ZH}^j}{\beta_{ZH}^j} \right)^{1-\sigma_H^j} + (\alpha_{LH}^j)^{\sigma_H^j} \left(\frac{p_{LH}^j}{\beta_{LH}^j} \right)^{1-\sigma_H^j} + (\alpha_{SH}^j)^{\sigma_H^j} \left(\frac{w^j}{\beta_{SH}^j} \right)^{1-\sigma_H^j}.$$

[2]合成財と合成サービス消費

1)最適化問題

$$q_{ZH}^j z_{ZH}^j = \min_{z_{nH}^j} \sum_n q_{nH}^j z_{nH}^j \quad (4a)$$

$$\text{s.t. } z_{ZH}^j = \gamma_{ZH}^j \left[\sum_n \alpha_{nH}^j \left\{ \beta_{nH}^j z_{nH}^j \right\}^{\frac{\sigma_{ZH}^j - 1}{\sigma_{ZH}^j}} \right]^{\frac{\sigma_{ZH}^j}{\sigma_{ZH}^j - 1}} \quad (4b)$$

2)需要関数

$$z_{nH}^j = \frac{1}{\gamma_{ZH}^j (\beta_{nH}^j)^{1-\sigma_{ZH}^j}} \left(\frac{\alpha_{nH}^j}{q_{nH}^j} \right)^{\sigma_{ZH}^j} \Psi_{ZH}^j \frac{\sigma_{ZH}^j}{1-\sigma_{ZH}^j} \cdot z_{ZH}^j \quad (5)$$

$$\text{ただし, } \Psi_{ZH}^j = \sum_n (\alpha_{nH}^j)^{\sigma_{ZH}^j} \left(\frac{q_{nH}^j}{\beta_{nH}^j} \right)^{1-\sigma_{ZH}^j}.$$

3)価格式

$$q_{ZH}^j = \frac{1}{\gamma_{ZH}^j} \Psi_{ZH}^j \frac{1}{1-\sigma_{ZH}^j} \quad (6)$$

ただし、 z_{nH}^j, q_{nH}^j : 地域jで消費される合成財と合成サービスnの消費量とその価格, $\alpha_{nH}^j, \beta_{nH}^j$: 分配パラメータ ($\sum_n \alpha_{nH}^j = 1, \sum_n \beta_{nH}^j = 1$), $\gamma_{ZH}^j, \sigma_{ZH}^j$: 効率パラメータおよび代替弾力性パラメータ.

[3]合成サービスの地域別消費量の決定

1)最適化問題

$$q_{nH}^j z_{nH}^j = \min_{z_{iH}^j} \sum_i q_{iH}^j z_{iH}^j \quad (7a)$$

$$\text{s.t. } z_{nH}^j = \gamma_{nH}^j \left[\sum_i \alpha_{iH}^j \left\{ \beta_{iH}^j z_{iH}^j \right\}^{\frac{\sigma_{nH}^j - 1}{\sigma_{nH}^j}} \right]^{\frac{\sigma_{nH}^j}{\sigma_{nH}^j - 1}} \quad (7b)$$

2)需要関数

$$z_{nH}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{nH}^j (\beta_{nH}^{ij})^{1-\sigma_{nH}^j}} \left(\frac{\alpha_{nH}^{ij}}{q_{nH}^{ij}} \right)^{\sigma_{nH}^j} \Psi_{nH}^j \frac{\sigma_{nH}^j}{1-\sigma_{nH}^j} \cdot z_{nH}^j \quad (8)$$

ただし, $\Psi_{nH}^j = \sum_i (\alpha_{nH}^{ij})^{\sigma_{nH}^j} \left(\frac{q_{nH}^{ij}}{\beta_{nH}^{ij}} \right)^{1-\sigma_{nH}^j}$.

3)価格式

$$q_{nH}^j = \frac{1}{\gamma_{nH}^j} \Psi_{nH}^j \frac{1}{1-\sigma_{nH}^j} \quad (9)$$

ただし, z_{nH}^{ij}, q_{nH}^{ij} : 地域*j*における地域*i*からの合成中間財*n*消費量とその価格, $\alpha_{nH}^{ij}, \beta_{nH}^{ij}$: 分配パラメータ ($\sum_i \alpha_{nH}^{ij} = 1, \sum_i \beta_{nH}^{ij} = 1$), γ_{nH}^j : 効率パラメータ, σ_{nH}^j : 代替弾力性パラメータ.

[4]合成サービスと合成旅客交通の消費

1)支出最小化問題

$$q_{nH}^{ij} z_{nH}^{ij} = \min_{x_{nH}^{ij}, z_{nH}^{ij}} [p_n^i x_{nH}^{ij} + q_{nH}^{ij} z_{nH}^{ij}] \quad (10a)$$

$$\text{s.t. } z_{nH}^{ij} = \gamma_{nH}^{ij} \left[(1-\alpha_{nH}^{ij}) \left\{ (1-\beta_{nH}^{ij}) x_{nH}^{ij} \right\}^{\frac{\sigma_{nH}^{ij}-1}{\sigma_{nH}^{ij}}} + \alpha_{nH}^{ij} \left\{ \beta_{nH}^{ij} z_{nH}^{ij} \right\}^{\frac{\sigma_{nH}^{ij}-1}{\sigma_{nH}^{ij}}} \right]^{\frac{\sigma_{nH}^{ij}}{\sigma_{nH}^{ij}-1}} \quad (10b)$$

2)需要関数

$$x_{nH}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{nH}^{ij} (1-\beta_{nH}^{ij})^{1-\sigma_{nH}^{ij}}} \left(\frac{1-\alpha_{nH}^{ij}}{p_n^i} \right)^{\sigma_{nH}^{ij}} \Psi_{nH}^{ij} \frac{\sigma_{nH}^{ij}}{1-\sigma_{nH}^{ij}} z_{nH}^{ij} \quad (11a)$$

$$z_{nH}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{nH}^{ij} (\beta_{nH}^{ij})^{1-\sigma_{nH}^{ij}}} \left(\frac{\alpha_{nH}^{ij}}{q_{nH}^{ij}} \right)^{\sigma_{nH}^{ij}} \Psi_{nH}^{ij} \frac{\sigma_{nH}^{ij}}{1-\sigma_{nH}^{ij}} z_{nH}^{ij} \quad (11b)$$

ただし,

$$\Psi_{nH}^{ij} = (1-\alpha_{nH}^{ij})^{\sigma_{nH}^{ij}} \left(\frac{p_n^i}{1-\beta_{nH}^{ij}} \right)^{1-\sigma_{nH}^{ij}} + (\alpha_{nH}^{ij})^{\sigma_{nH}^{ij}} \left(\frac{q_{nH}^{ij}}{\beta_{nH}^{ij}} \right)^{1-\sigma_{nH}^{ij}}.$$

3)価格式

$$q_{nH}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{nH}^{ij}} \Psi_{nH}^{ij} \frac{1}{1-\sigma_{nH}^{ij}} \quad (12)$$

ただし, x_{nH}^{ij}, p_n^i : 中間財*n*の消費量と地域*i*の*n*財価格, z_{nH}^{ij}, q_{nH}^{ij} : 合成旅客運輸消費量とその価格, $\alpha_{nH}^{ij}, \beta_{nH}^{ij}$: 分配パラメータ, γ_{nH}^{ij} : 効率パラメータ, σ_{nH}^{ij} : 代替弾力性パラメータ.

以上により, 家計財消費の消費財および投資財の需要関数が導かれた.

[5]家計の立地選択行動

家計の立地選択行動は, 以下のように定式化される.

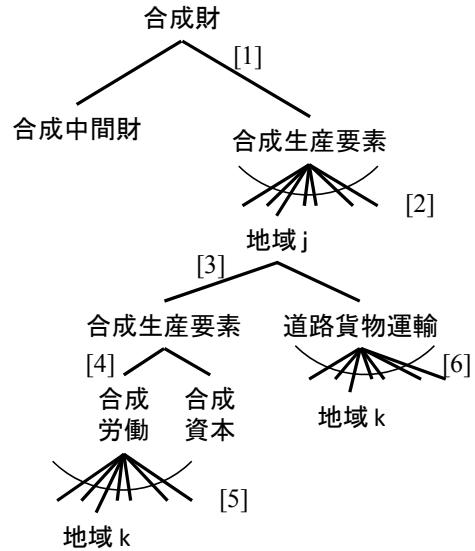


図3 合成財企業の行動モデルツリー

1)効用最大化問題

$$u_H = \max_{N^j} \left[\sum_j \alpha^j \frac{1}{\sigma_S} (N^j \cdot u_H^j)^{\rho_S} \right]^{\frac{1}{\rho_S}} \quad (13a)$$

$$\text{s.t. } \sum_j N^j = N^T \quad (13b)$$

2)需要関数

$$N^j = \frac{\alpha^j \left(\frac{I\varphi_H^j}{P_H^j} \right)^{\sigma_S-1}}{\sum_i \alpha^i \left(\frac{I\varphi_H^i}{P_H^i} \right)^{\sigma_S-1}} N^T \quad (14)$$

ただし, N^j : 地域*j*の立地量, $I\varphi_H^j$: 一家計当たり所得, α^j, σ_S : パラメータ.

2.3.2 企業の行動モデル

企業は地域全体に財を供給すると想定する合成財企業とゾーンごとにサービスを提供すると想定するサービス系企業とに分けて説明する.

(1) 合成財企業の行動モデル

合成財企業は合成中間財と生産要素を投入して, 地域全体に対して合成財を供給する. すなわち, 合成財企業については, 特にとどのゾーンで合成財を供給するのかわからないものとする. そのため, 合成財価格は一つの地域全体市場で決定されることになり, 計算負荷の軽減が図られると考えられる. しかし, 合成財企業の投入する労働および運輸についてはゾーンごとの投入量を何らかの形で算出する必要がある. そこで, 合成財企業は地域全体で唯一存在しているとするが, 合成労働はゾーン別に投入するとのモデル化を行うことにした. なお, どのゾーンから労働を投入するかは, 当該ゾーンの運輸投入

に依存すると想定する。その結果、例えば交通利便性の向上したゾーンは運輸投入が増加するとともに、労働投入も増加し、通勤に係わる交通流動に影響を与える点が表現可能となる。

(2) サービス系企業の行動モデル

サービス系企業は、そのサービスが供給されるゾーンに行かなければ原則的にはサービスを需要できない点に違いがある。そのため、サービス系企業に関してはゾーンごとに代表的サービス企業が存在し、サービス供給を行っているものとした。すなわち、モデル化はSCGEモデルの企業行動と同様に行える。一方、供給されたサービスについては、旅客トリップを投入して当該ゾーンにアクセスをした利用者によって需要されるものとする。したがって、サービス系企業は交通利便性の高い地域に多くサービス供給をしようとするのが表現できると考えられる。

企業の定式化は家計の定式化と枠組みは共通しており、ここでは具体的に示すことは割愛したい。

3. 市場の均衡条件

$$\text{合成財市場} : y_z = \sum_m x_{zm} + x_{zH}$$

$$\text{サービス市場} : y_s^j = \sum_i \sum_m x_{sm}^{ij} + \sum_i x_{sH}^{ij}$$

$$\text{労働市場} : T^j - l_s^j - \sum_k (t \times x_{TH}^{kj}) = \sum_i \sum_m l_m^{ji}$$

$$\text{資本市場} : k = k_z + \sum_j k_s^j$$

ただし、

y_z : 域内供給財供給量, x_{zm} : 合成財消費量, x_{zH} : 合成サービス消費量, T^j : 総利用可能時間, l_s^j : 余暇時間, t : , x_{TH}^{kj} : , k : 家計の資本供給量.

以上のCUEモデルを用いて、交通基盤整備の評価を実施する。

4. おわりに

本研究では、従来のCUEモデルが有していた土地市場のみが均衡する部分均衡モデルによる便益計測においては土地市場以外の市場における供給制約が考慮されていない問題点を、一般均衡理論を用いることにより解決を試みた。

数値計算結果は、講演時に発表する予定である。

参考文献

- 1) 上田孝行著, Excelで学ぶ地域・都市経済分析, コロナ社, 第1章, pp.1-10, 2010.
- 2) 堤盛人, 山崎清, 小池淳司, 瀬谷創: 応用都市経済モデルの課題と展望, Vol.68, No.4, pp.334-357, 土木学会論文集D3 (土木計画学), 2012.
- 3) 中村英夫: 国土調査地域の調査と分析, 土木学会編新体系土木工学50, 技法堂出版, 1984.
- 4) 中村英夫, 林良嗣, 宮本和明: 広域都市圏土地利用交通分析システム, 第335号, 土木学会論文集D3, 1983.
- 5) 上田孝行: 交通改善による生活機会の増大が人口移動に及ぼす影響のモデル分析, No.9, 土木計画学・論文集, 1991.
- 6) 上田孝行: 拡張された立地余剰を用いた一般均衡モデル, No.10, 土木計画学研究・論文集, 1992.
- 7) 武藤慎一, 上田孝行, 高木朗義, 富田貴弘: 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, Vol.17, 土木計画学研究・論文集, 2000.
- 8) 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.
- 9) (財)岐阜総合研究所: 岐阜環状道路整備効果検討業務委託報告書, 2001.
- 10) 鈴木俊之, 武藤慎一, 小川圭一: 都市の郊外化抑止よ中心市街地活性化のための土地開発規制策評価, Vol.9, 土木計画学研究・論文集, 2002.
- 11) 山崎清, 武藤慎一: 開発・誘発交通を考慮した道路整備効果の分析, 運輸政策研究所, Vol.11, No.2, pp.14-15, 2008
- 12) 山崎清: CUEモデルの理論の応用, 上田孝行著, Excelで学ぶ地域・都市経済分析, コロナ社, 第5章, pp.111-144, 2010.
- 13) 大学教育における土地利用モデルの役割と課題: 筑波大学社会工学類における実習を例に, 土木計画学研究・講演集, Vol.31, (CD-ROM講演番号: 176), 2005.

(2016. 7. 31 受付)