

CUEモデルにおける 立地均衡の実証性に関する研究

小池 淳司¹・山本 浩道²・友國 純志³

¹正会員 神戸大学教授 大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:koike@lion.kobe-u.ac.jp

²学生会員 神戸大学 大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:hiromichi_yamamoto@mhi.co.jp

³学生会員 神戸大学 大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:159t127t@stu.kobe-u.ac.jp

土地利用・交通モデルの一つであるCUEモデル(応用都市経済モデル)において、立地選択行動の精度を向上させる事は、交通施策導入による効果を評価する上で重要な事項であるが、筆者らの先行研究において、CUEモデルは、線形支出体系による間接効用関数の実証性が未検討である点、ロジットモデルを用いた立地選択行動が調整項に依存する点が示されている。そこで、本研究では、線形支出体系による効用関数の理論的意味を検討した上で、調整項の主構成要因の特定に着目し、調整項と都市アメニティ・アクセシビリティの統計的検証を実施した。結果、建築物・住宅の着工件数密度、65歳以下の割合、病院病床密度、乗用車保有率、地代・アクセシビリティが抽出された。更に、これら因子の多くは従来のCUEモデルの分析結果に過小評価を与える可能性が示された。

Key Words :CUE Model, Location Choice Model, Logit Model,Traffic economics, Amenity and Accessibility

1. 序章

近年、アジア・ASEAN地域の後進国・中進国では、急激な経済成長を背景としたモータリゼーションの到来により、過剰な交通渋滞や都市環境の悪化が顕在化している。このような都市課題を解決すべく、アジア・ASEANの各国は、TOD(Transit Oriented Development)に代表される、都市と交通の統合的な開発を通じた持続可能な都市形成を志向しており、計画段階において土地利用計画と交通計画を一体的に評価する事が望まれ、これらを実現可能な土地利用・交通モデルへの期待は高い。

土地利用・交通モデルは1950年代のローリーモデルより始まり、1970年代のエントロピーモデルの定式化、そして1980年代にはISGLUTI(国際共同研究)による大規模な実用化モデルの開発および適用がなされている¹⁾。一方、筆者らが研究の対象とするCUEモデル: Computable Urban Economic Model(応用都市経済モデル)は、土地利用・交通モデルにミクロ経済学の基礎を導入したモデルであり、上田(1991)²⁾、上田(1992)³⁾、武

藤・上田・高木(2000)⁴⁾⁵⁾⁶⁾等により構築され⁸⁾、都市経済の実態や都市政策の分析・評価を行うための実用型の都市モデルとして位置づけられている。このような発展経緯を経ている土地利用・交通モデルにおいて、その共通性の一つとして上田・堤⁹⁾は、交通需要予測において既に定着・普及しつつあった離散選択行動モデル、具体的にはロジットモデルを土地利用モデルの立地選択行動の予測に適用している事を挙げており、この点はAnas(1982)¹⁰⁾が大きく影響している事を示唆している。

ロジットモデルを用いた交通需要予測における交通配分の定式化として、宮城・小川(1985)¹¹⁾により定義された『選択の基本公式』が挙げられ、その基本概念を立地選択行動の予測に適用した場合の解釈は以下となる。

- 選択者の効用は、『観測可能な効用』と『観測不可能な効用』の線形和として定式化。
- 『観測可能な効用』は、立地魅力度を示す観察可能な指標であり、間接効用関数と住環境や地形的な要因等の地域固有の指標から構成される。実証分析では、地域固有の指標を『調整項』として位

置付け、外生パラメータとして評価対象地域の実測値とのキャリブレーションにより同定される。

- 『観測不可能な効用』は、選択の変化に関する確率的誤差としてガンベル分布に従うと定義される。また、確率的誤差の分布形状を決定する指標として、分散パラメータが定義される。

以上の解釈の下、土地利用モデルの立地選択行動の予測にロジットモデルが適用されており、CUEモデルにおいても同様の概念が適用されている。然しながら、筆者らの先行調査・研究において、従来のCUEモデルは以下の課題を有する可能性が示されている。

- 『観察可能な効用』の主要素である間接効用関数は地代と交通費用で構成されるが、価格の定義が不明瞭であり、現状のモデルでは各変数の影響が固定化されていない。
- 従来のCUEモデル及び代表的な既往研究において、統計的に感度調整が可能なスケールパラメータは1と設定されており、その妥当性に関する検証は不十分である。また、筆者らによる神戸市を対象とした事後評価では、スケールパラメータによる感度調整の結果、立地選択行動は観測可能な間接効用のみではなく、理論的検証が不十分である『調整項』に大きく依存する傾向である。

上記結果は、土地利用・交通モデルの実用型モデルとして多くの実績を有するCUEモデルの改善余地を示すものであると共に、ロジットモデルを立地選択行動予測へ適用した際の信頼性検証の不十分さを示していると考えられ、交通施策導入による都市の持続的な成長を土地利用・交通モデルにより高い信頼性の下で評価する為に、改善すべき重要な課題である。

以上の背景の下、本研究では前述したCUEモデルにおける2つの課題のうち、後者に該当する調整項の理論的検証について検討を行う。具体的には、調整項と都市アメニティ・アクセシビリティの相関関係に着目し、調整項の主な構成因子の特定を兵庫県南部地域を対象とした事後評価により実施する。

本稿の構成は、序章（本章）と結論（第6章）を含む全6章で構成される。第2章と第3章では、先行調査・研究として、CUEモデルの理論式の検証結果と神戸市を対象とした事後評価によるロジットモデルが抱える課題について記す。第4章では、兵庫県南部地域の計24市・区の人口移動と地価の変遷について記す。第5章では、兵庫県南部地域における事後評価により得られた調整項と都市アメニティ・アクセシビリティ・地代の相関関係の検証を通じ、調整項の構成要因の特定とそれらが従来のCUEモデルの分析結果に与える影響について考察を行う。

2. 先行調査・研究：CUEモデルの構成と理論的検証

(1) CUEモデルの全体構成

CUEモデルの全体構造を図-1に示す。CUEモデルで想定している主体は、家計・企業・地主であり、各主体が効用最大化行動を行い、土地市場及び交通市場から提示される価格(地代、交通費用)によって財(トリップ数、土地面積)の消費、投入量が調整されるモデルであり、各ゾーンにおける土地市場と交通市場が同時に均衡するモデルである。モデルの前提条件は以下の通りである¹²⁾。

①経済主体は同一の選考を持つ人口一人当たりで捉えた家計、職業・産業別の区分のない従業者一人で捉えた企業、そして不在地主を考えている。

②対象地域は個々のゾーンに分割されており、各ゾーン内における同一用途内は同質である。

③構築モデルは閉鎖都市モデルであり、都市圏(対象地域)の総人口、総従業者数は外生的に与えられる。

④土地市場は等効用原則に基づく均衡土地利用を確率的に拡張し、交通市場は等時間原則に基づく利用者均衡を確率的に拡張しており、土地市場と交通市場が同時に均衡するモデルである。

⑤家計は効用最大化行動に従い、企業は利潤最大化行動に従って立地選択を行うものとし、立地の変化による追加的な費用は一切考慮しない。

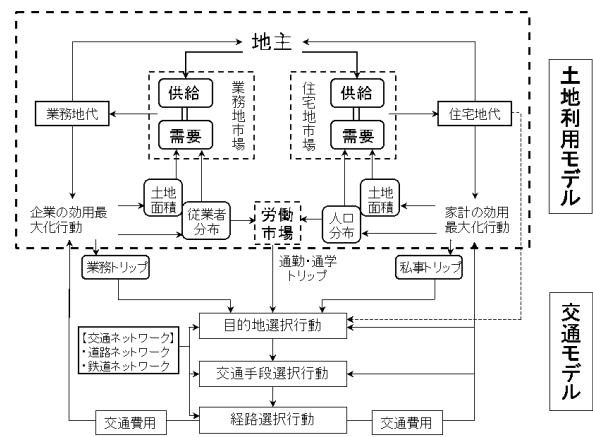


図-1 CUEモデルの全体構造

(2) CUEモデルの理論式

本稿では検証の単純化の為、家計の行動モデルに焦点を絞り評価を行う。代表的な1人の家計は、私事トリップ(トリップ数)、土地面積(宅地消費量)、合成財を消費し、時間資源を含む総所得制約下において効用が最大になるように行動を行う。家計の消費行動は(1)式、(2)式のように定式化しており、私事トリップ(トリップ数)・土地面積(宅地消費量)・合成財を財とし、間接効用関数は対数線形で特定化している。財消費にトリップ回数を

導入している意味としては、買い物や旅行等の外に出かける回数が増加する場合に家計の満足感が向上することを想定しているためである。所得は利用可能時間から通勤時間の差に賃金率（時間価値）を乗じた消費者の賃金所得である。

$$V(q_i, r_i, l_i) = \max_{q_i, r_i, l_i} [\alpha_z \ln z_i + \alpha_x \ln x_i + \alpha_l \ln l_i] \quad (1)$$

$$s.t. z_i + q_i x_i + r_i l_i = w[\Omega - t_{i1}] \equiv I_i \quad (2)$$

ここで、 z_i ：合成財消費量、 x_i ：トリップ数、 l_i ：土地面積（住宅地消費量）、 q_i ：トリップ費用、 r_i ：地代、 t_{i1} ：ゾーン*i*からゾーン1への通勤時間、 w ：家計の賃金率（時間価値）[円/時間]、 Ω ：総利用可能時間（固定）、 $\alpha_z, \alpha_x, \alpha_l$ ：支出配分パラメータ

($\alpha_z + \alpha_x + \alpha_l = 1$)、 I ：総所得、 V ：（間接）効用関数を示す。

(1)、(2)式で表される効用最大化問題を解くことにより、合成財消費量、私事トリップ消費量、宅地面積消費量が導出される。

$$z_i = \alpha_z I_i \quad (3)$$

$$x_i = \frac{\alpha_x}{q_i} I_i \quad (4)$$

$$l_i = \frac{\alpha_l}{r_i} I_i \quad (5)$$

ここで、 z_i ：合成財消費量、 x_i ：私事トリップ消費量、 l_i ：宅地面積消費量を示す。

導出された需要関数により間接効用関数が導出される。

$$V_i = \ln(I_i) - \alpha_x \ln(q_i) - \alpha_l \ln(r_i) + C \quad (6)$$

$$\text{ただし、} C = \alpha_z \ln(\alpha_z) + \alpha_x \ln(\alpha_x) + \alpha_l \ln(\alpha_l)$$

家計は各ゾーンの立地魅力度に応じて立地を選択する。ここで想定する立地行動は確率的立地行動であり、家計は効用水準のより高いゾーンへ立地変更できるものとする。ここではロジットモデルを用いて、立地選択行動を立地選択確率として定式化する。また、間接効用関数に含まれていない要因であるゾーン固有の魅力度を調整項として考慮する。各ゾーンの人口は対象都市の総人口に(7)式の立地選択確率を乗じた値である。このとき、分散パラメータの役割は家計の間接効用関数が立地選択確率に与える影響の大きさを決めるものである。分散パラメータは一意に決まり、ゾーン毎に与えられる値ではないことに注意が必要である。

$$P_i = \frac{\exp \theta(V_i + \tau_i)}{\sum_i \exp \theta(V_i + \tau_i)} \quad (7)$$

ここで、 P_i ：立地選択確率、 τ_i ：調整項、 θ ：分散パラメータを示す。

(3) 家計の行動モデルの検証

家計の立地選択行動は(7)式の立地選択確率により決定され、間接効用関数と調整項から構成される。間接効用関数の構成は前述の通り、家計の総所得に対してトリップ費用と地代が外生的に定められた支出配分パラメータの比率によって固定的に消費される事を表している。しかしながら、既往研究において各価格に対する明確な定義がなされていない。

例えば、山崎・武藤¹³⁾は、総所得を所得接近法から推定した賃金率と総利用可能時間により設定、地代を公示地価と10年国債利回りから設定、トリップ費用を発生トリップベースの期待最小費用として設定しているが、それぞれの時間的整合性に関する記載は無く、かつ各価格が総費用に与える影響度合いについても不明瞭である。また、武藤・上田・高木・富田¹⁴⁾は、総所得を外生的に付与した賃金率と総利用可能時間により設定、地代を岐阜市統計書から設定、トリップ費用を発生トリップベースの一般化費用として設定しているが、これらも時間的整合性・各価格の影響度合いに関する明確な定義はなされていない。

以上より、間接効用関数の導出における各価格の時間的整合性と影響度合いの定義は明確にされておらず、かつ支出配分パラメータの理論的意味合いに関する言及も不足している。以上のことから、間接効用関数の理論的整合性を担保する上でも、各価格の影響度（スケール）の補正を行う事が必要である。

3. 先行調査・研究：立地選択行動予測へのロジットモデル適用の課題

(1) ロジットモデルを用いた立地選択行動の予測に関する既往研究

土地利用モデルの立地選択行動の予測にロジットモデルを用いた代表的な4つの既往研究とCUEモデルについて、立地魅力度関数/間接効用関数とロジットモデルの形式、及び分散パラメータと調整項の位置付けに関する整理結果について表1に記す。

代表的な4つの既往研究における立地魅力度関数/間接効用関数について、林・富田¹⁵⁾は世帯の間接効用関数Vを観測可能な世帯属性変数及び住宅属性変数を用いて表現している。富田・寺島¹⁶⁾は、家計は所得制約下において効用最大化行動を行うものとして、合成材消費量や床面積需要量（住宅広さ）等から構成される直接効用関数に交通環境負荷による外部不経済を加味し間接効用関数を定義する。杉本・宮本¹⁷⁾は、転居発生モデルとして家計の効用を合成材消費量と説明変数ベクトル、パラメータにより定義する。大森・高木・秋山¹⁸⁾は、立地魅力度関数を環境要因に応じたメンバシップ値、原点から重

心までの横軸距離を基に求めている。

一方、ロジットモデル内の分散パラメータに目を向けると、大森・高木・秋山¹⁸⁾は分散パラメータ $\theta=1$ と明記しているのに対し、林・富田¹⁵⁾と杉本・宮本¹⁷⁾は分散パラメータの記載はなく実質的に1である。また、富田・寺島¹⁶⁾は分散パラメータとみられる α の記述はあるものの、その決定方法の詳細は記載されていない。従い、既往研究において、ロジットモデル内の分散パラメータについて統計的検証は行われておらず、時間安定性及びその妥当性についての検討も行われていない状況である。

一方、CUEモデルにおける家計の間接効用関数は、前述の通り、私事トリップ・土地面積・合成材を消費し、時間資源を含む総所得制約下における効用最大化問題として定式化しているが、分散パラメータ $\theta=1$ と設定する事が多く、間接効用関数に含まれていないゾーン固有の魅力度を調整項 τ も実地データとのキャリブレーションにより同定を行う。然しながら、同定された調整項について理論的な検証はなされていないのが現状である。

表-1 立地魅力度関数とロジットモデル

既往研究	立地魅力度関数/間接効用関数	ロジットモデル	分散パラメータ	調整項
林・富田 [1988] ¹⁵⁾	V	$P = \frac{\exp(V)}{\sum \exp(V)}$	実質的に1	なし
富田・寺島 [2003] ¹⁶⁾	$V = \max\{U(Z, I, X, S)\} + \mu \cdot \gamma(f)$ s.t. $pZ + rA + (e + q)X + wS = w\left\{\Omega - \frac{\sum NT}{N}\right\} + y$	$P = \frac{\exp(\alpha V)}{\sum \exp(\alpha V)}$	α の詳細は未記載	なし
杉本・宮本 [2003] ¹⁷⁾	$U = \xi z + \zeta Y$	$P = \frac{\exp(U)}{\sum \exp(U)}$	実質的に1	なし
大森・高木・秋山 [2004] ¹⁸⁾	$u = \frac{\int z \cdot \mu(z) dz}{\int \mu(z) dz}$	$P = \frac{\exp(\theta \cdot \mu)}{\sum \exp(\theta \cdot \mu)}$	$\theta=1$	なし
CUEモデル	$V_i = \ln(l_i) - \alpha_z \ln(q_i) - \alpha_l \ln(r_i) + C$ s.t. $C = \alpha_z \ln(\alpha_z) + \alpha_l \ln(\alpha_l) + \alpha_i \ln(\alpha_i)$	$P_i = \frac{\exp[\theta(V_i + \tau_i)]}{\sum_i \exp[\theta(V_i + \tau_i)]}$	主に $\theta=1$ と設定	実地データより同定

ここで、表1の数式に関し、富田・寺島¹⁶⁾は Z : 合成財消費量, A : 床面積需要量 (住宅広さ), X : トリップ数, S : 余暇時間, $\gamma(f)$: 直接効用に交通環境負荷による外部不経済を加えたもの, p : 財価格, r : 地代, e : 1自由トリップあたりサービス財消費額, q : 1自由トリップあたり平均交通費用, w : 貸金率, Ω : 利用可能時間, N : 人口, T : 通勤所要時間, y : 資産所得。杉本・宮本¹⁷⁾は, U : 直接効用関数, Y : 説明変数ベクトル, ξ, ζ : パラメータ, z : 合成財消費量を示す。大森・高木・秋山¹⁸⁾は, u : 効用水準, $\mu(z)$: 環境要因に応じたメンバシップ値, z : 原点から重心までの横軸の距離を示す。CUEモデルは, z_i : 合成財消費量, V : (間接) 効用関数, I : 総所得, x_i : 私事トリップ消費量, l_i : 宅地面積消費量, P_i : 立地選択確率, τ_i : 調整項, θ : 分散パラメータを示す。

(2) 神戸市の発展経緯を対象としたCUEモデルによる立地選択の事後評価

筆者らの先行研究の結果として、前節において示した分散パラメータと調整項の課題に対して、神戸市9区の1980年から2010年までの人口分布の変遷(立地行動選択の実測値)を対象とし、CUEモデルにおいて立地選択行動を推定した結果について記す。本稿では、従来手法による推定結果と改善手法による推定結果を記す。ここで従来手法とは、(7)式において、基準年を1980年とし分散パラメータ $\theta=1$ の下、各区の人口分布の実測値と推計値が合致する様に調整項 τ を同定し、以降の将来の立地選択確率推定においては分散パラメータと調整項は基準年で算出した値を固定とする手法である。一方、改善手法については、基準年 $t=5$ における分散パラメータの値を1とし、立地選択確率の推測値 P_i^{t-5} と実測値 \hat{P}_i^{t-5} が合致するように $t=5$ 年の調整項 τ_i^{t-5} をキャリブレーションにより決定する。次に、 $t=5$ 年の調整項 τ_i^{t-5} を t 年の調整項 τ_i^t に代入する。代入した後、5年間隔で推定する場合は、以下に示す(8)式における誤差 ε が最小の値を取るように θ^t を推定する手法である。

$$\varepsilon = \sum_i (\hat{P}_i^t - P_i^t (\tau_i^{t-5}))^2 \tag{8}$$

上記2手法における、1985年と2010年の人口分布推定結果について、表2及び図2から図5に示す。分析の結果、1985年の人口分布推定結果は、従来手法・改善手法共に決定係数は0.9以上を有し同等の推定精度である。一方、2010年の人口分布推定結果は、改善手法において決定係数は0.9以上を維持するのに対し、従来手法では0.1を下回る結果となった。これは、間接効用関数以外の要因、即ち調整項が時間的変化を捉えられていない為と解釈され、基準年：1980年において同定した調整項を以降の推定においても使用する従来手法の問題点であると解釈できる。一方、5年毎にスケールパラメータと調整項を同定する改善手法では、調整項が時間的変化を正確に捉えており、高い精度で人口分布を推定可能である事を示している。また、前述の結果は人口分布の推定において調整項が大きな影響を及ぼす事を示す。しかしながら、調整項の理論的検証は十分とは言えない状況であり、地域に固有の魅力度と位置づけられる調整項の主構成要因については明らかにされていない。従って、地域固有の魅力度の代表である都市アメニティやアクセシビリティと調整項の関係を明確に評価し、その主構成要因を特定する事が、CUEモデルの精度向上には必要であると考えられる。

表-2 1985年と2010年の人口分布推定結果

予測年	1985年		2010年	
	従来手法	改善手法	従来手法	改善手法
基準年	1980年	1980年	1980年	2005年
スケールパラメータ	1.000	0.929	1.000	0.989
間接効用関数の平均値	13.436	13.436	13.622	13.622
調整項の平均値	0.228	0.228	0.228	0.292
決定係数: R ²	0.917	0.915	0.089	0.996

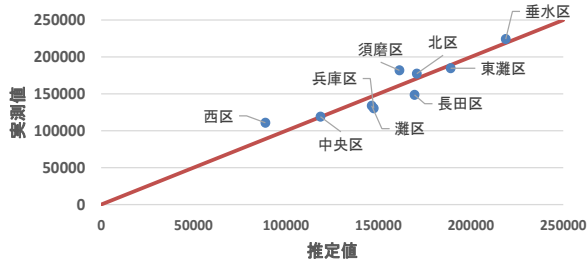


図-2 従来手法：1985年の人口分布推定結果

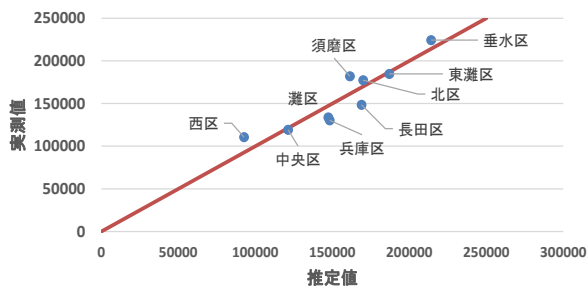


図-3 改善手法：1985年の人口分布推定結果

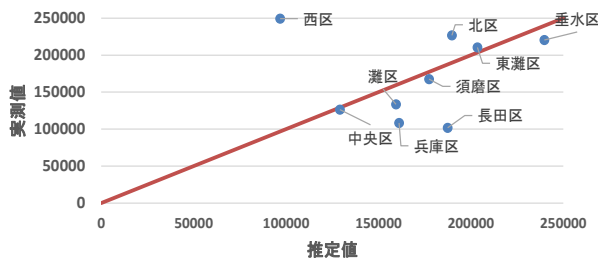


図-4 従来手法：2010年の人口分布推定結果

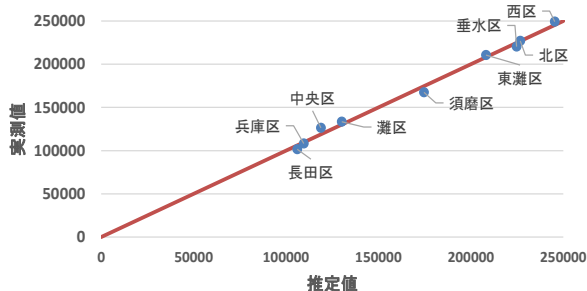


図-5 改善手法：2010年の人口分布推定結果

4. 兵庫県南部地域の人口移動と地価変化の変遷

本章では、兵庫県南部地域に位置する神戸市9区とその周辺15都市について、平成17年から平成22年までの人口と公示地価の変遷について評価を行う。分析には、兵庫県統計書データを適用する。また、各値は平成17年を基準とした変化率として定義し、人口変化は出生・死亡の自然的人口増減を除く社会的人口増減とする。

人口変化率と地価変化率を4象限に区分した結果を図6に示す。第1象限は、地価・人口共に上昇傾向を示す成長都市であり、神戸市主要区・西宮市・芦屋市などを含む7市・区が抽出された。これらの地域は、H17年時点における地価が24市・区のうち上位10地域に該当する地域であり、従来より高い魅力を有する地域が、その後の5年間に於いて更に地域の魅力を向上させる事により、人口増加と地価上昇を達成していると判断される。第2象限は、地価は下降傾向を示す一方、人口は増加傾向を示す地域であり、神戸市兵庫区・西区・明石市・三田市などを含む7市・区が抽出された。これらの地域は、神戸市主要部や大阪市へのアクセス性が良い住宅エリアである。第3象限は、地価・人口共に減少傾向を示す地域であり、神戸市主要部や大阪市から離れた郊外都市が多く含まれる。特徴的な傾向として、大阪市へのアクセス性が良好な尼崎市が含まれている事が挙げられる。その原因として、当該地域の治安や居住空間の窮屈さが影響を及ぼしていると想定される。最後に、地価は上昇傾向を示す一方、人口は減少する第4象限は、該当する都市は存在しない結果となった。

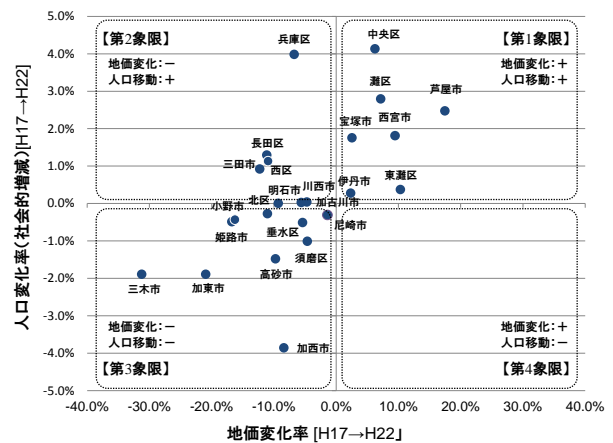


図-6 人口変化率と地価変化率【H17→H22】

以上の通り、各都市の人口と地価の変遷は、都市の特徴に応じて様々な傾向を示す。本稿で主題としているCUEモデルは、地価に加えトリップ費用を消費行動として考慮することにより、人口移動数の変化を推定するものであるが、兵庫県南部地域の様にH17年からH22年において総所得の傾向と交通利便性が大きく変わらない場

合、地価の減少は地域に対する効用を上昇させる事を意味し、人口増加を促進させる効果を得る。一方、地価の上昇は地域に対する効用を減少させる事を意味し、人口減少を促進させる効果を得る。即ち、CUEモデルは、図6における第2象限と第4象限について理論的に定式化している。しかしながら、現実には図6における第1象限と第3象限に該当する立地選択行動を行っており、これらはCUEモデルでは理論的に明示されておらず、地域固有の特徴を示す調整項にその影響が集約されていると考えられる。従い、従来のCUEモデルでは、現実には起こり得る立地選択行動の要因を把握するに至っておらず、CUEモデルの理論的説明力を向上させる為には、調整項の主構成要因を明確にする事は重要な課題である。

調整項を構成する要因として、都市アメニティとアクセシビリティが考えられる。都市アメニティとは、地域固有の環境要素・地理要素を指し、地域に属する家計や企業に利得あるいは損失を与えるものである¹⁹⁾。代表的な例としては、地域の都市化を表す”人口密度”や生活設備の充実度を表す”小売り場面積充実度”，地域の安心・安全度を表す”公害苦情率”等が挙げられる。このように、調整項に対する都市アメニティの各要素とアクセシビリティの影響度合いを統計的検証を通じて評価を行い、調整項の主構成要素を特定を行う必要がある。

5. 兵庫県南部地域を対象とした従来型CUEモデルの改善方針の検討

(1) 検証方針

本章では、前章までに示した従来のCUEモデルにおける課題の検証を、兵庫県南部地域の事後評価を通じて検証を行う。検証のフローチャートを図7に示す。

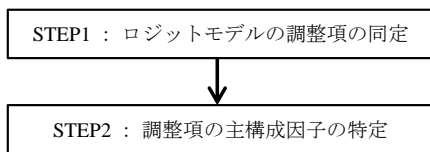


図-7 検討のフローチャート

(2) 検証対象エリア

本検証では、表3に示す通り、兵庫県南部地域に位置する神戸市9区とその周辺15都市を対象として評価を行う。

(3) 検証ケースの設定

本検証では、立地選択確率の推定を基に、価格パラメータと調整項を導出する。ここで、兵庫県南部地域における立地選択確率（人口分布）を表4に示す3ケースにおいて評価を行う。

Case1はH22年の人口総数の各地域毎の分布状況を立地選択確率として検証を行う。また、Case2/Case3の二期間の人口移動数を対象とした検証は、地域毎によって2期間において人口の増減が生じる。ここで、ロジットモデルによる立地選択確率を導出する際、人口の減少（負）については立地選択確率を導出できないという課題が生じる。そこで、本研究では、図8の通り、各地域の人口増減の状況を勘案した上で、基準年（H12年/H17年）における各地域の10%の人口の総数がH22年において人口配分すると捉え、立地選択確率を導出する。尚、人口移動数は出生・死亡などの自然的人口増減を除く、社会的人口増減を用いて導出する。

表-3 分析対象都市

神戸市：9区	周辺都市：15都市	
東灘区	尼崎市	三木市
灘区	伊丹市	加東市
中央区	川西市	小野市
兵庫区	宝塚市	加西市
北区	西宮市	加古川市
長田区	芦屋市	高砂市
須磨区	明石市	姫路市
垂水区	三田市	
西区		

表-4 検証ケース

Case1	H22年の総人口の分布
Case2	H17年からH22年までの人口移動数
Case3	H12年からH22年までの人口移動数

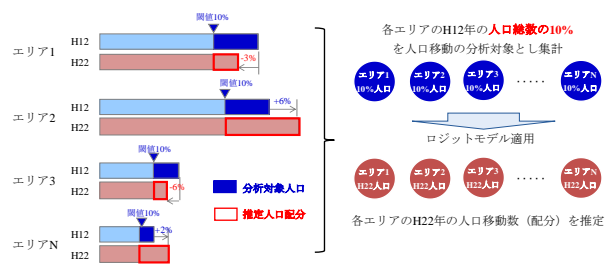


図-8 2期間の人口移動数の立地選択確率の考え方

(4) 使用データ

分析に使用する各データの出典について、表5に示す。何れのデータも、兵庫県により公開されている情報を使用する。また、地代情報に関しては、公な情報が開示されていない為、表5における公示地価を基に、10年国債利回り率を用いて導出を行った。

表-5 分析使用データと出典

モデル変数	出典
人口	H22年 兵庫県統計書 人口・世帯：市区町別人口／市区町別人口の動き
地価	H22年 兵庫県統計書 県土・気象：住宅地の平均価格
所得	H22年 兵庫県県民経済 一人あたりの市長民所得
支出配分パラメータ	H22年 兵庫県統計書 物価・家計：1か月あたりの消費支出額（神戸市）
PTデータ	H22年 近畿圏パーソントリップ調査

(5) トリップ費用とアクセシビリティ

間接効用関数の入力因子となるトリップ費用は、H22年近畿圏パーソントリップデータを用い、通勤目的の鉄道と自動車のトリップ数を加重とした地域毎の代表価格： \bar{q}_i として、式(9)～式(11)により導出する。また、各地域間の所要時間・費用は、Google Mapの経路検索エンジンを用い各地域の市・区役所間を平日の午前7時30分に出発するという条件で抽出を行った。また、分析の対象とする各地域は大阪市への通勤目的移動も多い事から、移動目的地として大阪市も対象として代表価格の導出を行った。代表価格の導出結果を図9a)に示す。

$$\bar{q}_i^r = \frac{\sum_j [D_j^r (t_{ij}^r \times 37.2) + P_{ij}^r]}{\sum_j D_j^r} \quad (9)$$

$$\bar{q}_i^c = \frac{\sum_j (D_j^c \times t_{ij}^c \times 37.2)}{\sum_j D_j^c} \quad (10)$$

$$\bar{q}_i = \frac{\sum_j D_j^r \times \bar{q}_i^r + \sum_j D_{c_j} \times \bar{q}_i^c}{\sum_j D_j^r + \sum_j D_j^c} \quad (11)$$

ここで、 \bar{q}_i^r ：地域 i の鉄道の代表価格、 \bar{q}_i^c ：地域 i の自動車の代表価格、 \bar{q}_i ：地域 i の鉄道+自動車の代表価格、 D_j^r ：地域 ij 間の鉄道の通勤トリップ数、 D_j^c ：地域 ij 間の自動車の通勤トリップ数、 P_{ij}^r ：地域 ij 間の鉄道の運賃、 t_{ij}^r ：地域 ij 間の鉄道の旅行時間、 t_{ij}^c ：地域 ij 間の自動車の旅行時間、時間価値：37.2円/分。

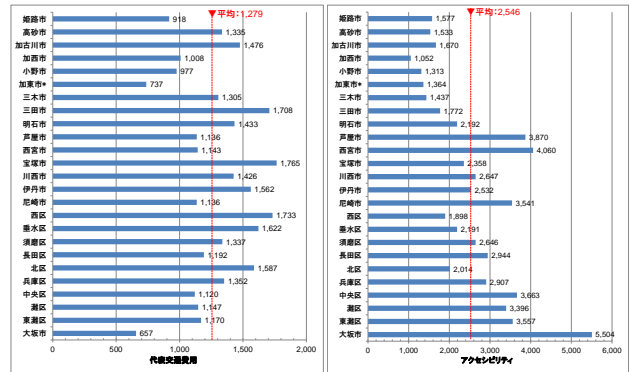
また、地域間のアクセシビリティに関しては、各地域の従業者数と地域間の一般化費用から式(12)にて導出を行う。また、一般化費用： q_{ij} は鉄道と自動車の一般化費用に両交通モードの全目的の移動トリップ数の比率を $\alpha_r=0.44$ 、 $\alpha_c=0.56$ として乗じた。アクセシビリティの導出結果を図9b)に示す。

$$A_i = \sum_j \frac{P_j^B}{q_{ij}} \quad (12)$$

$$q_{ij} = \alpha_r (t_{ij}^r \times 37.2 + P_{ij}^r) + \alpha_c (t_{ij}^c \times 37.2) \quad (13)$$

ここで、 A_i ：地域iのアクセシビリティ、 P_j^B ：地域

の従業者数、 q_{ij} ：地域ijの一般化費用を示す。



a)代表価格（トリップ費用） b)アクセシビリティ

図-9 代表価格とアクセシビリティ

(6) STEP1：調整項の導出

調整項は、式(6)の間接効用関数を式(7)のロジットモデルに代入し得られた推定値と実測値の誤差が最小になるように、調整項： τ_i を同定する。

ここで、調整項に焦点を絞る為、スケールパラメータ： $\theta=1$ とする。導出結果を表6)に示す。同表は、各ケースにて算出された調整項の平均値からの差分を地域ごとに示している。特徴として、尼崎市・西宮市・姫路市は平均値からの正値が大きく、間接効用関数に対して多くの効用が調整項として付与されている事を示している。一方、加東市・小野市・加西市は平均値からの負値が大きく、間接効用関数に対して付与される効用が少ないという傾向を示している。

表-6 調整項導出結果/平均値からの差分表示

		検討ケース		
		Case1	Case2	Case3
神戸市	東灘区	0.31	0.33	0.68
	灘区	-0.15	0.05	0.35
	中央区	-0.20	0.07	0.54
	兵庫区	-0.37	-0.05	0.08
	北区	0.32	0.29	0.33
	長田区	-0.46	-0.32	-0.25
	須磨区	0.05	-0.03	-0.25
	垂水区	0.32	0.28	0.06
	西区	0.44	0.52	0.68
	尼崎市	1.13	1.12	0.96
伊丹市	0.21	0.22	0.09	
川西市	0.07	0.08	0.26	
宝塚市	0.37	0.50	0.68	
西宮市	1.08	1.21	1.47	
芦屋市	-0.77	-0.57	-0.17	
明石市	0.68	0.68	0.52	
三田市	-0.43	-0.36	-0.33	
三木市	-0.60	-0.78	-1.24	
加東市	-1.41	-1.53	-1.73	
小野市	-1.11	-1.16	-1.23	
加西市	-1.11	-1.57	-1.98	
加古川市	0.60	0.59	0.48	
高砂市	-0.51	-0.66	-1.03	
姫路市	1.27	1.09	1.03	
平	平均値	1.41	1.58	1.99

(7) STEP2：調整項の主構成因子の特定

STEP1で導出した各ケースにおける調整項の主要因を特定する為、地域固有の魅力度を表す都市アメニティ・アクセシビリティと調整項の統計的評価を行う。

本検討で用いた説明因子の一覧を表7に示す。説明因子の構成は、都市の人口環境・居住環境・施設整備環境・地域治安・地域環境性を念頭に置き、19の都市アメニティ指標を抽出した。また、都市の魅力に大きな影響を与えると考えられる、地代・アクセシビリティを加えた全21因子にて評価を行う。尚、各因子の出典は、兵庫県統計書を中心に設定を行い、不足部分は各市・区より発行されている統計書にて補完を行った。また、H22年を基準にデータの抽出を実施したが、統計データの整備が不足している項目については、H22年より最も近い年度のデータを代替として使用した。

表-7 説明因子一覧

No.	説明因子	算出式	単位	データ年度
1	人口密度	人口総数/可住地面積	人/㎡	H22
2	15歳以下割合	15歳以下人口/人口総数	%	H22
3	65歳以上割合	65歳以上人口/人口総数	%	H22
4	1人当たり居住室の畳数		畳/人	H25
5	建築物・住宅新築着工件数密度	着工研修/人口総数	%	H22
6	街区公園面積密度	街区公園面積/人口総数	㎡/1000人	H22
7	学校密度	(幼+小+中学級数)/15歳以下人数	校/1000人	H22
8	病院病床密度	病床数/人口総数	床/1000人	H23
9	一般・歯科診療所密度	診療所数/人口総数	件/1000人	H23
10	宿泊施設密度	宿泊施設/人口総数	施設/1000人	H22
11	理容美容院密度	(理容施設+美容施設)/人口総数	施設/1000人	H22
12	クリーニング店密度	施設数/人口総数	施設/1000人	H22
13	小売り売り場面積密度	売り場面積/人口総数	㎡/1000人	H24
14	乗用車保有率	登録台数/人口総数	台/1000人	H22
15	二輪車保有率	登録台数/人口総数	台/1000人	H22
16	生活保護率	生活保護割合/人口総数	%/1000人	H22
17	公害苦情率	件数/人口総数	件/1000人	H22
18	刑法犯罪認知・発生率	件数/人口総数	件/1000人	H22-23
19	火災発生率	件数/人口総数	件/1000人	H22-23
20	地代	公示地価×10年国債利回り	円/年・㎡	H22
21	アクセシビリティ	従業者数/一般化費用	円/トナリ	H22

表-8 重回帰分析結果

	Case1			Case2			Case3		
	係数	t値	有意性 ^{*)}	係数	t値	有意性 ^{*)}	係数	t値	有意性 ^{*)}
建築物・住宅新築着工件数密度	0.16	2.88	**	0.15	3.00	***	0.13	2.48	**
65歳以下割合	-11.86	-3.20	***	-12.63	-3.67	***	-10.08	-2.47	**
病院病床密度	-0.04	-2.24	**	-0.03	-1.82	*	-0.04	-2.01	*
人口密度	-	-	-	-	-	-	-201.68	-1.95	*
乗用車保有率	-0.01	-3.58	***	-0.01	-4.35	***	-0.01	-4.20	***
公害苦情率	0.65	1.82	*	0.68	2.07	*	0.54	1.56	-
地代	-7.4E-04	-3.59	***	-7.1E-04	-3.73	***	-5.8E-04	-2.90	**
[H22年公示地価より導出]									
アクセシビリティ	6.3E-04	1.62	-	6.2E-04	1.69	-	7.5E-04	1.97	*
切片	6.87	4.11	-	7.49	4.82	-	9.40	5.02	-
決定係数：R ²	0.675			0.751			0.813		

* 1 ** * : 1%以下の水準で有意。 ** : 5%以下の水準で有意。 * : 10%以下の水準で有意。 無印 : 10%以上の水準

表6で示した各検討ケースの調整項を被説明因子とし、表7で示した各説明因子との相関関係を、重回帰分析により評価した結果について、表8に示す。分析の結果、全検討ケースに対して統計的に10%以下の有意性を持つ

説明因子は、建築物・住宅の着工件数密度、65歳以下の割合、病院病床密度、乗用車保有率、地代という結果を得た。また、アクセシビリティは、Case1・Case2では10%台の有意性であったものの、Case3では10%以下の有意性を示し、調整項に対して一定の影響を示す傾向が確認された。何れの因子についても、検討ケース間の係数の符号は一致しており、安定した分析結果が得られている。

また、調整項の構成要因分析として、図10から図12に各検討ケースにおける評価結果を示す。結果、何れの検討ケースにおいても、正の効用を示す要因のうちアクセシビリティの寄与が最も大きく、次いで建築物・住宅の着工件数密度という結果を得た。本結果の解釈として、前者は立地選択に対して各地域への交通アクセス性が大きく寄与しているという事、後者は都市の発展に対しては住宅地の供給程度が寄与する事を示している。即ち、灘区のように交通利便性が高いが住宅供給スペースに限界が生じている地域では、宅地開発等により住宅供給量を増加させる事が、人口誘因に効果を与える可能性を示唆している。

一方、負の効用を示す要因は、乗用車保有率の影響が最も大きく、次いで65歳以下の割合と地代が影響を及ぼすという結果を得た。本結果の解釈として、乗用車保有率は、地域間・地域内の公共交通の整備程度を示していると考えられ、公共交通の移動利便性が充実していない事が人口移動に対して負の効用として表している傾向を示す。また、65歳以下の割合は都市の高齢化の程度を、地代は都市化の進展程度を表していると考えられ、人口移動に対しては両因子も負の効用として位置付けられているという傾向が確認された。

■ 65歳以下割合 ■ 建築物・住宅新築着工件数密度 ■ 病院病床密度
■ 乗用車保有率 ■ 公害苦情率 ■ 地代
■ アクセシビリティ ■ 切片 ■ 残差

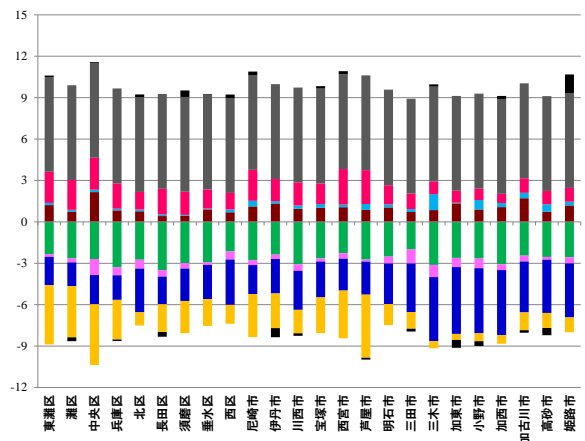


図-10 調整項の構成要因分析 (Case1)

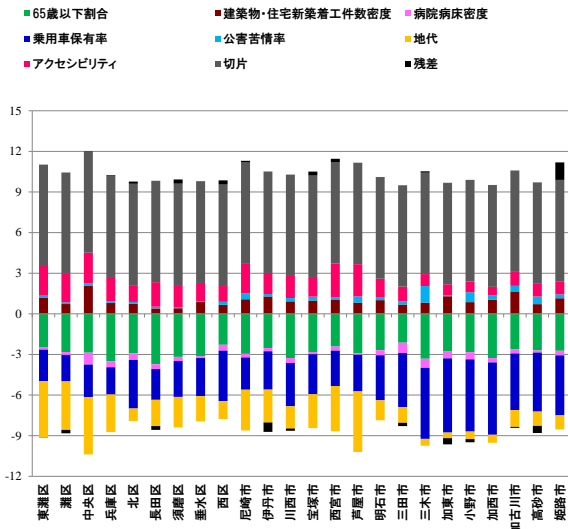


図-11 調整項の構成要因分析 (Case2)

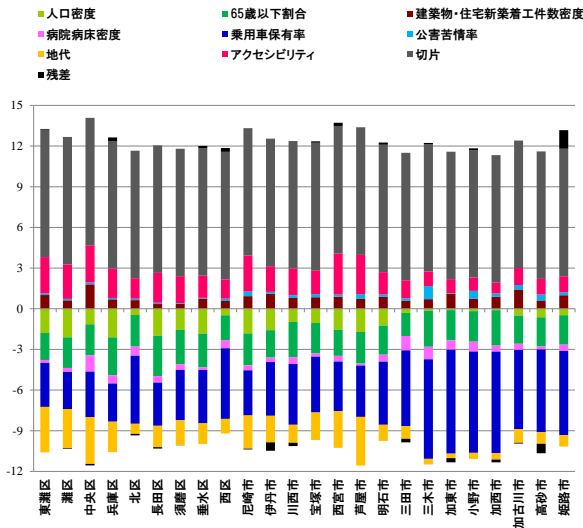


図-12 調整項の構成要因分析 (Case3)

(8) 従来のCUEモデルの推定結果への影響度評価

前述の3ケースの人口移動に対する分析結果を通じて、調整項の主構成要因について特定を行った。本節では、これら抽出された構成因子が、従来のCUEモデルの推定結果に影響を与える可能性について考察を行う。

CUEモデルは、交通施策導入前の環境条件の基、交通施策を導入する事による効果の評価を行う。この時、立地均衡条件は土地の需要と供給が合致する事であり、本過程において地代と人口移動数が決定される。逆を言えば、その他の要因は交通施策導入前の環境に固定されている状況である。

上述の背景の下、調整項の各構成因子が従来のCUEモデルの推定結果に与える影響について考察を行う。正の効用を示す建築物・住宅の着工件数密度は、住宅の供給量を示している。現状のCUE分析では、土地供給量を自

治体などの宅地開発計画を用いているが、交通施策導入前時点の計画値を用いる事が多く、交通施策の導入により地域の利便性が向上し住宅供給量が増加する可能性については明確に反映されていない。従い、従来のCUE分析では交通施策導入による効果が過小評価されている可能性を有している。同様に正の効用を示すアクセシビリティは、交通施策の導入により明らかに改善する要素であるが、従来のCUE分析ではその効果が十分反映できておらず、交通施策導入による効果が過小評価されていると判断できる。また、負の効用を示す乗用車保有率に関しても、交通施策導入による効果が過小評価されている可能性を有する。理由として、交通施策導入により交通便利性が向上し、中長期的には自動車保有量の削減に寄与すると考えられるが、それらの効果が反映されていない為である。一方、地代に関しては、過大評価につながる可能性を有する。理由としては、間接効用関数の主構成因子として既に加味されている地代が、調整項に対しても重複して影響を与えている為である。その他の構成因子については、現時点でCUEモデルに与える影響を判断するに至らなかった。

以上より、調整項を構成する主構成因子は、現状のCUEモデルの分析結果に対して一定の影響を及ぼす可能性が確認された。今後は、今回抽出されたCUEモデルに影響を与える可能性を有する因子を、理論モデル内に組み込み、CUEモデルの精度を向上させる事がもめられる。

表-9 調整項の構成因子がCUEモデルに与える影響

調整項と有意性を持つ影響因子群	Case1	Case2	Case3	従来のCUEモデルの分析結果への影響の可能性
	H22年人口総数	H17→H22人口移動数	H12→H22人口移動数	
建築物・住宅新築着工件数密度	✓	✓	✓	過小評価の可能性を有する
アクセシビリティ	△ (P値: 0.1以上)	△ (P値: 0.1以上)	△	過小評価の可能性を有する
公害苦情率	✓	✓	△ (P値: 0.1以上)	不明
乗用車保有率	✓	✓	✓	過小評価の可能性を有する
地代 [H22年公示地価より導出]	✓	✓	✓	過大評価の可能性を有する
65歳以下割合	✓	✓	✓	不明
病院病床密度	✓	✓	✓	不明
人口密度	-	-	✓	不明

6. 結論

本稿では、土地利用・交通モデルの一つである、CUEモデルの理論的な課題を抽出し、立地選択行動の予測に大きな影響を与える調整項の主構成要素の特定を行った。結果、調整項の主な構成要因として、建築物・住宅の着工件数密度、65歳以下の割合、病院病床密度、乗用車保有率、地代・アクセシビリティが特定された。また、これら構成要素が、従来のCUEモデルの分析に与える影響に対する考察の結果、交通施策導入の効果に対して過小評価につながっている可能性が高いという示唆を得た。

本結果は土地利用・交通モデルの実用型モデルとして位置付けられているCUEモデルの改善の余地を示すものであり、今後の更なる推定精度向上の可能性を示すものである。今後の取組み方向性として、下記の2点について検討を進める予定である。

- 本稿で示唆した課題の一つである、CUEモデルの間接効用関数の各価格の定義の明確化に向けた、スケールパラメータの設定に関する検討。
- 本稿で示した、調整項の主構成要因として特定された因子のCUEモデル理論式への組み込み。

参考文献

- 1) 上田孝行：Excel で学ぶ・地域都市経済分析，コロナ社，2010。
- 2) 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駅用のモデル分析，土木計画学・論文集 No9, 1991
- 3) 上田孝行：拡張された立地余剰を用いた一般均衡モデル，土木計画学研究・論文集 No10, 1992
- 4) 武藤慎一，上田孝行，高木郎義，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，土木計画学研究・論文集，Vol17, pp257-266, 2000
- 5) 武藤慎一，秋山孝正，高木郎義：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，pp205-214, 2000
- 6) (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
- 7) 鈴木俊之，武藤慎一，小川圭一：都市の郊外化抑止と中心市街地活性化のための土地開発規制政策評価，土木計画学研究・論文集，Vol19, No2, 2002
- 8) 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，vol11, No2, pp14-25, 2008
- 9) 上田孝行，堤盛人：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，No625/IV-44, pp65-78, 1999
- 10) Anas, A : Residential Location Markets and urban Transportation, Academic Press, 1982
- 11) 宮城俊彦・小川俊幸：共益理論を基礎とした交通配分モデルについて，土木計画学研究・講演集，No7, 1985
- 12) 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，土木学会論文集，Vol68, No.4, pp344-357, 2012
- 13) 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，Vol11, No.2, pp14-25, 2008
- 14) 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，土木計画学研究・論文集，No.17, pp257-266, 2000
- 15) 林良嗣，富田安夫：マイクロシミュレーションとランダム効用モデルを応用した世帯のライフサイクル-住宅地-人口属性構成予測モデル，土木学会論文集，No.395/IV-9, pp. 85-94, 1988.
- 16) 富田安夫，寺嶋大輔：最適な都市構造実現のための土地利用・住宅・交通政策のパッケージ化手法，第 28 回土木計画学研究発表会・講演集，2003。
- 17) 杉本直，宮本和明：土地利用マイクロシミュレーションモデルにおける空間集計・主体集計の影響分析，第 28 回土木計画学研究発表会・講演集，No.28, 2003。
- 18) 大森貴仁，高木朗義，秋山孝正：ファジィ推論を用いた都市政策評価のための立地均衡モデルの構築，土木計画学・論文集，Vol21, 255-264, 2004。
- 19) 中野英夫：賃金およびレントと都市のアメニティ，住宅土地経済 1992 年秋季号，1992

(2016. 4. 22受付)

Study on the Substantiation of Location Equilibrium in CUE Model

Atsushi KOIKE, Hiromichi YAMAMOTO and Masashi TOMOKUNI

Regarding the CUE Model which is one of the major land-use transportation integrated model, it is important to improve the accuracy of location choice behavior in order to evaluate the effect of transportation development and urban development. However, in our previous study, CUE model will have two challenging issue, one is the to unclear the verification of liner expenditure system of utility function, the other is that the estimation results is highly depended on adjustment factors. In this study, we have focused on extraction about main component factor of adjustment factor.As the our approach, we conducted statistical validation between the adjustment factor, the urban-amenity and the accessibility. The result of evaluation, we were able to identify six factor which are density of construction starts of building and housing, ratio of less than 65 years old, densityof hospital beds, prevalence of private car, rent and accessibility. In addition, we got the possibility that these factors give underestimate the analysis result of the conventional CUE model.