

# 応用都市経済モデルの居住地選択サブモデルの将来予測精度に関する研究

## A Study of the Future Prediction Accuracy of Residential Choice Sub-model of Computational Urban Economic Model

東京大学工学部都市工学科 03-180143 中村 優希

Computational Urban Economic (CUE) Model is a Land Use-Transport Interaction model, which describes the interaction between the transport and land use. No existing studies have validated how accurately the residential location choice sub-model of CUE Model can predict the future. This thesis reveals that the sub-model cannot predict the future so accurately. Sub-models which deal with building floors and which classify households by the income level cannot improve the accuracy.

### 1. 研究の背景と目的

一般的な交通需要予測モデルを適用して交通流パターンを予測する場合、土地利用と人口分布はシナリオとして外生的に与える。これを改め、土地利用と人口分布から交通流パターンへの作用、及び交通流パターンから土地利用と人口分布への作用の双方を考慮して都市の将来像を予測するのが土地利用交通モデルである。これを用いることで、交通政策の効果をより正確に予測したり、土地利用規制策等の都市政策と交通政策を一体的に行う場合の結果を予測したりすることができると考えられる。

土地利用交通モデルの1つである応用都市経済モデル(CUEモデル、Computable Urban Economic Model)は「土地(及び建物)市場の均衡と立地均衡、混雑も考慮した交通ネットワーク均衡を同時に考慮した静学的な意味での経済部分均衡モデル」<sup>1)</sup>と定義されている。モデル内において立地主体は各々の効用または利潤が最大となるように立地場所を選択し、地代または賃料に応じて土地または建物床を需要する。需給が均衡するように地代または賃料が変化し、全ての立地場所における効用または利潤が等しい均衡状態に至る。

他の土地利用交通モデルと比較した場合の応用都市経済モデルの大きな特徴として、理論的モデルと実践的モデルの両方の長所を備えていることが挙げられる<sup>2)</sup>。理論的モデルとしての長所は、ミクロ経済学の考え方を基礎としているため理論的整合性が高いことと、部分均衡の枠組みで便益評価を行うことが可能なことである。実践的モデルとしての長所は、交通に関する既存のデータや需要予測と整合的であることと、集計ロジットモデルを導入しているため操作性・柔軟性が高いことである。

しかし応用都市経済モデルを扱う既往研究<sup>3),4)</sup>において、基準年での人口分布の再現性を確認している場合はあるものの、将来予測精度の検証は行われていない。応用都市経済モデルの中の交通サブモデルは四段階推定法

に準じたモデルを用いることが多いが、居住地選択サブモデルは独特のものであるため、精度の検証が必要だと考えられる。また建物床の考慮<sup>5)</sup>や所得階層による家計の区分<sup>6)</sup>といった改良を試みた研究はあるが、将来予測精度の向上度合いは不明である。

そこで本研究では応用都市経済モデルのうち居住地選択サブモデルのみを扱い、その将来予測精度を検証することと、精度向上の方法を検討することを目的とする。

### 2. 一般的な居住地選択サブモデルの概要

#### 2.1 前提条件

紙幅の都合で説明は割愛するが、一般的に置かれる前提条件を本研究でも置いた。

#### 2.2 全体構造

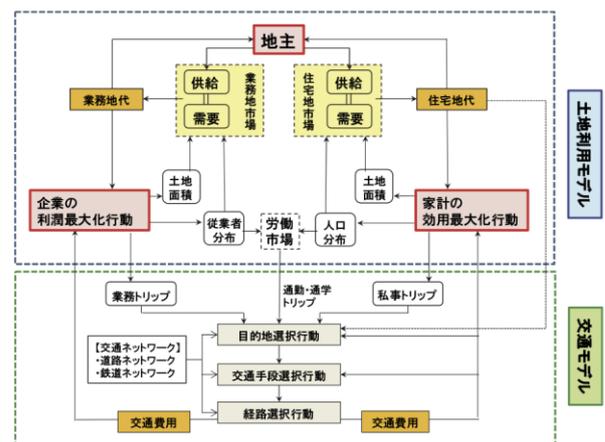


図1 応用都市経済モデルの全体構造<sup>7)</sup>

応用都市経済モデルの全体構造は図1のようになっている。本研究では土地利用モデルのうち家計が関わる「家計の効用最大化行動」「地主」「住宅地市場」「住宅地代」「土地面積」「人口分布」の部分居住地選択サブモデル

として扱う。また「交通費用」にパーソントリップ調査のデータを外生的に与え、「交通費用」の変化が「家計の効用最大化行動」に及ぼす影響を考慮できるようにする。

### 2.3 家計の効用最大化

応用都市経済モデルでは下式の間接効用関数を用いる。

$$V_i = \ln I_i - \alpha_a \ln r_i - \alpha_x \ln q_i + C \quad (2-1)$$

$$I_i = w(T - t_i) \quad (2-2)$$

$$C = \alpha_z \ln \alpha_z + \alpha_a \ln \alpha_a + \alpha_x \ln \alpha_x \quad (2-3)$$

ただし、 $i$ ：ゾーンを表す添え字、 $V_i$ ：家計の効用水準、 $I_i$ ：家計の総所得、 $r_i$ ：地代（面積あたり）、 $q_i$ ：私事トリップの一般化価格、 $\alpha_z, \alpha_a, \alpha_x$ ：分配パラメータ（ $\alpha_z, \alpha_a, \alpha_x > 0, \alpha_z + \alpha_a + \alpha_x = 1$ ）、 $w$ ：賃金率、 $T$ ：総利用可能時間（固定）、 $t_i$ ：通勤時間。

ロジットモデルを用いて立地選択確率の式を得る。ここで間接効用関数に含まれていないゾーン固有の魅力の調整項として組み込む。

$$P_i = \frac{\exp\theta(V_i + \tau_i)}{\sum_j \exp\theta(V_j + \tau_j)} \quad (2-4)$$

ただし、 $P_i$ ：立地選択確率、 $\theta$ ：分散パラメータ（ $>0$ ）、 $\tau_i$ ：調整項。

各ゾーンの予測年の人口は次式のように求められる。

$$N_i = k_i \hat{N}_i + P_i(N^T - \sum_j k_j \hat{N}_j) \quad (2-5)$$

ただし、 $N_i$ ：予測年のゾーン人口、 $k_i$ ：留保率、 $\hat{N}_i$ ：基準年のゾーン人口、 $N^T$ ：予測年の総人口（外生的に与える）。

間接効用関数の導出方法や不在地主の土地供給行動の記述、パラメータの推定については本概要では割愛するため既往研究<sup>3)</sup>を参照されたい。

## 3. 基本モデルの将来予測精度検証

### 3.1 モデル適用の対象地域・期間と使用データ

対象地域は東京都の区部と市部及び瑞穂町とする。郡部の他の町村は一部のデータがないため除いた。ゾーン区分には東京都市圏パーソントリップ調査の中ゾーンを用いる。中ゾーンはほぼ市区町村を単位としているが、周縁部では市町村がいくつかまとまっている場合もある。2000年を基準年とし、10年後の2010年を予測年とする。使用データは表1の通りである。

### 3.2 パラメータ推定

基準年のデータを用いてパラメータを推定した結果を表2に示す。分散パラメータ $\theta$ の値の推定結果は負になった。これは実際には地代と立地選択確率に負の相関がない<sup>2)</sup>ことが原因だと考えられる。以後、既往研究<sup>7)</sup>に基づき $\theta$ を1として進める。この $\theta$ の下での立地選択確率の算出結果が実際の基準年のデータと一致するように調整項を求めた。

表2 基本モデルのパラメータ推定結果

	パラメータ	t値	R <sup>2</sup>
土地消費 $\alpha_a$	0.0810	17.3606	0.8880
私事トリップ $\alpha_x$	0.0976	35.5890	0.9709
分散パラメータ $\theta$	-2.0239	-1.3244	0.0453

### 3.3 将来予測結果

基本モデルを用いて予測年である2010年の予測を行った。人口については1990年・1995年・2000年の人口を基にしたトレンドでの予測結果との比較を行った。

2010年の予測人口と実際の人口を比較すると、基本モ

表1 使用データと出典

項目	出典(基準年)	予測年	調査媒体	範囲
人口	国勢調査(2000年)	国勢調査(2010年)	総務省 統計局	市区町村
留保率	国勢調査(2000年)	—	総務省 統計局	市区町村
賃金率	毎月勤労統計調査(2000年)	不変	厚生労働省 雇用・賃金福祉統計室	都
総実労働時間	毎月勤労統計調査(2000年)	不変	厚生労働省 雇用・賃金福祉統計室	都
通勤時間	第4回東京都市圏パーソントリップ調査(1998年)	第5回東京都市圏パーソントリップ調査(2008年)	東京都市圏交通計画協議会	中ゾーン
私事トリップ頻度	第4回東京都市圏パーソントリップ調査(1998年)	第5回東京都市圏パーソントリップ調査(2008年)	東京都市圏交通計画協議会	中ゾーン
私事トリップ時間	第4回東京都市圏パーソントリップ調査(1998年)	第5回東京都市圏パーソントリップ調査(2008年)	東京都市圏交通計画協議会	中ゾーン
住宅用土地供給面積	東京都統計年鑑(2003年)	—	東京都 総務局	市区町村
住宅供給可能面積	社会・人口統計体系(2000年)	不変	総務省 統計局	市区町村
地価	地価公示(2000年) 都道府県地価調査(2000年)	—	国土交通省 土地・建設産業局 東京都 財務局	地点

デルの予測精度は高いように見える。決定係数は 0.9913 と高く、トレンドによる予測結果の決定係数 0.9677 を上回っている。しかし増減率を比較すると、実際増減率は青梅市の 0.99 倍から中央区の 1.69 倍まで幅がある一方で、予測した増減率はほぼ全てのゾーンで 1.06~1.12 倍となった。

住宅地面積の予測結果も決定係数 0.9585 で実際の値に近いように見えるが、10 年間の増減率を見ると将来予測精度が高くないことが分かる。こちらは実測の増減率よりも幅を持った予測結果となっていて、人口とは異なる予測の外れ方となった。

これらの結果から、応用都市経済モデルの居住地選択サブモデルは各ゾーンの人口と住宅地面積の増減を説明できておらず、将来予測精度が十分にあるとは言えないことが明らかになった。

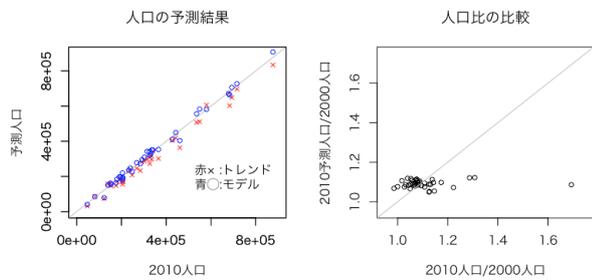


図2 人口の予測結果

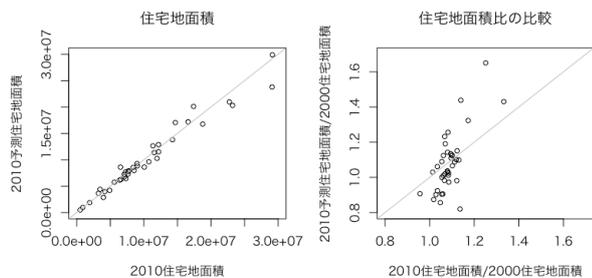


図3 住宅地面積の予測結果

### 3.4 将来予測精度の低さの原因と改良方法

図4のように、都心回帰と工場跡地等の用途転換による千代田区・港区・中央区・江東区といった都心近辺での大幅な人口増を基本モデルでは予測できていない。基本モデルでは考慮していない建物床をモデルに組み込むことで、高層主体や低層主体といった地域の差を反映し、より実態に即した効用関数を設定でき、将来予測精度を向上することができるのではないかと考えられる。

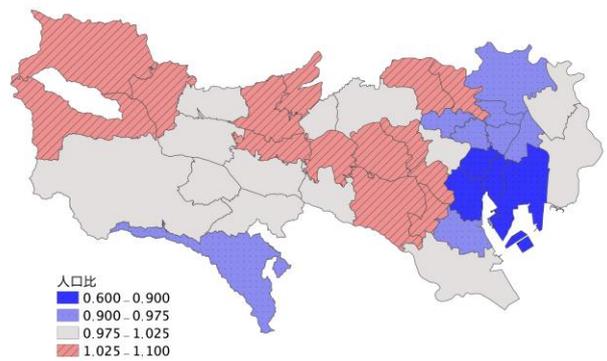


図4 基本モデルの人口予測結果と実際の人口との比較

## 4. 建物床を考慮する居住地選択サブモデル

### 4.1 基本モデルからの変更点

本章のモデルでは、各ゾーンに1人存在する開発者が不在地主と家計の間に入り、資本と土地を消費して建物床を生産し家計に供給する利潤最大化行動を行うと考える。

$$\Pi_i = \max_{Q,L,K} [R_i Q_i - r_i L_i - M K_i] \quad (4-1)$$

$$Q_i = v L_i^a K_i^b \quad (4-2)$$

ただし、 $i$ : ゾーン、 $\Pi_i$ : ゾーン*i*の開発者の利潤、 $R_i$ : 建物床賃料(面積あたり)、 $Q_i$ : 建物床面積、 $r_i$ : 地代(面積あたり)、 $L_i$ : 開発者に供給される土地面積、 $M$ : 土地以外の資材価格(一定)、 $K_i$ : 土地以外の資材投入量、 $v, a, b$ : パラメータ ( $v, a, b > 0, 0 < a + b < 1$ )。これを解くことで開発者の建物床生産量と土地消費量が求められる。

$$Q_i = \varphi_1 R_i^m r_i^n \quad (4-3)$$

$$m = \frac{a+b}{1-a-b}, \quad n = -\frac{a}{1-a-b} \quad (4-4)$$

$$L_i = \varphi_2 \frac{Q_i R_i}{r_i} \quad (4-5)$$

ただし、 $\varphi_1, \varphi_2$ : パラメータ。

全ての家計が土地ではなく床を消費する。そのため効用関数には地代の代わりに賃料を入れる。

$$V_i = \ln I_i - \alpha_A \ln R_i - \alpha_x \ln q_i + C \quad (4-6)$$

ただし、 $V_i$ : 家計の効用水準、 $I_i$ : 所得、 $q_i$ : 私事トリップの一般化価格、 $C$ : 定数、 $\alpha_A, \alpha_x$ : 分配パラメータ ( $\alpha_A, \alpha_x > 0, 0 < \alpha_A + \alpha_x < 1$ )。

土地市場の精算条件は各ゾーンの開発者の土地需要量と不在地主の土地供給面積が等しくなることである。建物市場の精算条件は各ゾーンの家計の床需要量と開発者の床供給面積が等しくなることである。

## 4.2 パラメータ推定

基準年のデータを用いてパラメータを推定した結果を表3に示す。(4-3)式の当てはまりが良くないため、表3の上3行の決定係数が低く、地代の指数である $n$ が有意な値となっていないが、本章ではこの式および推定した $\varphi_1, m, n$ をそのまま用いる。分散パラメータ $\theta$ の値が負という推定結果になったが、1として進める。この $\theta$ の下での立地選択確率の算出結果が実際の基準年のデータと一致するように調整項を求めた。

表3 建物床考慮モデルのパラメータ推定結果

パラメータ	t値	R <sup>2</sup>	
建物生産 $\varphi_1$	295893.6412	7.4702	
$m$	0.6483	2.7969	0.2069
$n$	-0.3108	-1.1779	
土地消費 $\varphi_2$	0.4584	15.5486	0.8642
床消費 $\alpha_A$	0.1959	10.9975	0.7609
私事トリップ $\alpha_x$	0.0976	35.5890	0.9709
分散パラメータ $\theta$	-3.2356	-2.9287	0.1882

## 4.3 将来予測結果

人口増減率の予測結果は基本モデルの場合と異なりばらつき、一部で実測に近い数字となった。しかし人口の値と住宅地面積の値の決定係数は低下し、それぞれ0.9852と0.8875となった。また住宅地面積の増減率の予測結果の傾向は基本モデルからあまり変わっていない。以上の結果から、本章の方法で建物床を考慮しても、応用都市経済モデルの居住地選択サブモデルの将来予測精度は向上できないことが明らかになった。この原因として、家計の行動モデルの中の地代・土地消費量を賃料・床消費量に変えても効用最大化行動を現実に沿って記述できなかったこと、開発者の建物床生産行動のあてはまりが悪いことが挙げられる。

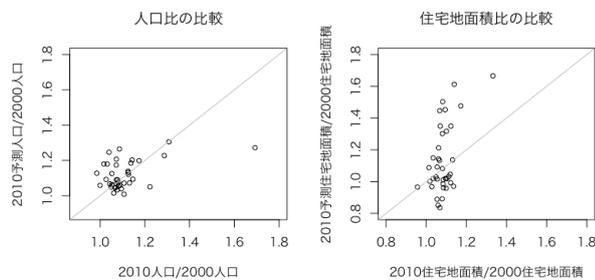


図5 人口と住宅地面積の各増減率の予測結果

## 5. 家計を所得階層別で扱う居住地選択サブモデル

所得階層毎の家計の行動の違いを組み込む改良を施したモデルについても4章と同様の検証を行った。具体的には、年収400万円以下の低所得世帯、400~1000万円の中所得世帯、1000万円以上の高所得世帯の3つに家計(世帯)を分け、それぞれで間接効用関数のパラメータと調整項を設定し、将来予測を行った。本概要では紙幅の都合で結果は省略するが、将来予測精度の向上は見られなかった。

## 6. 結論と今後の課題

本研究から、一般的な応用都市経済モデルの居住地選択サブモデルは、人口増減率をどのゾーンでもほぼ同じだと予測するものであり、将来予測精度が低いことが明らかになった。また本研究の方法で建物床を考慮しても、また所得階層毎の家計の行動の違いを組み込んでも、将来予測精度は向上しなかった。その主たる原因として家計の立地選択行動の説明力の低さが挙げられ、この点は規範的モデルの限界だと考えられる。

今後の課題としては、他の地域や期間を対象とした場合の将来予測精度の変化の分析、地代がゾーンの魅力を表しているため実際は地代と効用に負の相関が見られないことへの対応策としてのアメニティ指標の導入、ミクロ経済学的基礎を保ちつつ実態に即した各主体の行動の記述を目指すことが挙げられる。

## 参考文献

- 1) 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D3(土木計画学)*, Vol.68, No.4, pp. 344-357, 2012.
- 2) 小池淳司, “応用都市経済モデル(土地利用・交通モデル)の理論展開と実用化,” *都市計画=City planning review*, Vol.66, No.2, pp. 38-41, 2017.
- 3) 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* Vol.11, No.2, pp. 14-25, 2008.
- 4) 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, pp. 257-266, 2000.
- 5) 堤盛人, 宮城卓也, 山崎清, “建物市場を考慮した応用都市経済モデルの可能性,” *土木学会論文集D3(土木計画学)*, Vol.68, No.4, pp. 333-343, 2012.
- 6) 寺本雅子, 市川温, 立川康人, 椎葉充晴, “水災害危険度に基づく土地利用規制の費用便益評価-世帯所得の分布を考慮して-,” *土木学会論文集B*, Vol.66, No.2, pp. 119-129, 2010.
- 7) 小池淳司, 友國純志, 山本浩道, “応用都市経済モデルにおける立地選択モデルの事後評価と発展方向,” *土木学会論文集D3(土木計画学)*, Vol.72, No.5, pp. I\_695-I\_705, 2016.