

京都大学工学部 学生会員 長屋 和暉
 京都大学大学院工学研究科 正会員 松島 格也
 京都大学経営管理大学院 フェロー 小林 潔司

1 はじめに

都市圏における二酸化炭素排出源のうち民生，交通部門が比較的大きな割合を占めるが，これらの排出量の予測及び削減効果の計測にはある程度の不確実性が伴い，精緻な計測が困難な分野でもある [1] . この課題に対し都市住民の行動をミクロ経済学の理論に基づきモデル化し，都市住民による土地利用と交通利用を一体的に扱ったモデルとして応用都市経済モデル (以下 CUE モデル) が挙げられる . 容積率規制や建物の高さに依存する排出を計測するために建物市場を考慮し，かつ一般均衡理論体系と統合的なモデルを構築し，ベトナム・ハノイ都市圏を対象として実証分析を行った .

2 モデルの構成

対象都市の家計の総数は外生的に与えられる閉鎖都市モデルとし， I 個のゾーンに分割されている . 明示的に扱う経済主体は，労働家計，小売財・サービスを生産する企業，建物床を生産する開発者である . 市場は小売財・サービス市場，労働市場，建物市場，土地市場の 4 つを定義する . 添え字 $(i, j) \in (1, \dots, I)$ はゾーン番号を表している .

(1) 家計の行動

家計は所得制約の下で自身の効用 U_{ij} を最大化する . 効用最大化によって決定された効用 U_{ij}^* によって居住地 - 就業地の組み合わせ $(i, j) \in (1, \dots, I)$ を決定する . (i, j) 決定後，小売財・サービス，住宅建物床面積 b_{ij} ，余暇時間 E_{ij} を消費する . 家計の効用 U_{ij} には誤差項 ϵ_{ij} が含まれており，家計によって異なる選好を表している . この誤差項は *i.i.d* のガンベル分布であると仮定することで家計の (i, j) 選択確率 P_{ij}

はロジットモデルで表される .

$$\begin{aligned} \max_{\forall Z_z, b, E} U_{ij} &= \max_{\forall Z_z, b, E} \alpha \ln \left(\sum_{\forall z} \iota_{z|ij} (Z_{z|ij})^\eta \right)^{\frac{1}{\eta}} \\ &\quad + \beta \ln b_{ij} + \gamma \ln E_{ij} + \epsilon_{ij} \\ \text{s.t. } &\sum_{\forall z} (p_z + a_{ij} g_{iz}) Z_{z|ij} + b_{ij} R_i^H + d g_{ij} \\ &= (H - E_{ij} - d G_{ij} - \sum_{\forall z} a_{ij} Z_{z|ij} G_{iz}) w_j + W \\ P_{ij} &= \frac{\exp(\lambda U_{ij}^*)}{\sum_{\forall (s,t)} \exp(\lambda U_{st}^*)}, \quad \sum_{\forall (i,j)} P_{ij} = 1 \end{aligned}$$

$\sum_{\forall z} Z_{z|ij}$: 対象地域で生産された財・サービスの総量， $\iota_{z|ij}$: ゾーン z の買い物魅力度を表す係数， p_z : ゾーン z で販売されている財・サービスの集計単位あたりの価格， a_{ij} : 買い物トリップ数， R_i^H : ゾーン i での住宅建物床面積あたりの賃料， w_j : ゾーン j の賃金率， H : 総利用可能時間， d : 通勤日数， g_{ij}, G_{ij} : ゾーン (i, j) 間を往復する際に要する金銭的費用と時間， W : 家計一人あたりの地代・資本レント収入 .

(2) 企業の行動

労働時間 L_j と業務建物床面積 S_j を投入して小売財・サービス X_j を生産する . なお，生産関数は操業地ゾーン j 特有の生産性を表す係数 A_j ，投入係数 δ, μ ($\delta, \mu > 0, \delta + \mu = 1$) を用いてコブダグラス型により特定化し，費用 (C_j^P) 最小化として定式化する .

$$\begin{aligned} \min_{L, S} C_j^P &= w_j L_j + R_j^B S_j \\ \text{s.t. } X_j &= A_j L_j^\delta S_j^\mu \end{aligned}$$

(3) 開発者の行動

土地面積 B_i と土地以外の建築資材 K_i を投入して建物床面積 Q_i を生産する . なお，生産関数は投入係数 a, b ($a, b > 0, a + b = 1$) を用いてレオンチェフ型により特定化し，費用 (C_i^D) 最小化として定式化する .

$$\begin{aligned} \min C_i^D &= r_i B_i + M_i K_i \\ \text{s.t. } Q_i &= \min[B_i/a, K_i/b] \end{aligned}$$

r_i : ゾーン i の地代, M_i : ゾーン i の資材の一般価格.
 なお, 堤ら [2] のように, 容積率を考慮し Q_i が法定容積率 (σ_i) から算出される限界可能建築物床面積 \bar{Q}_i を超す場合は, $Q_i = \bar{Q}_i = \sigma_i B_i$ と設定する.

(4) 均衡条件

土地利用モデルでの均衡式は以下の通り. (N : 対象都市の総家計数, Y_i : ゾーン i の最大利用土地面積)
 財・サービス市場: $N \sum_{\forall(n,s)} Z_{i|ns} P_{ns} = X_i$
 労働市場:

$$L_j = N \sum_{\forall i} (H - dG_{ij} - a_{ij} \sum_{\forall z} G_{iz} Z_{z|ij}) P_{ij}$$

$$\text{建物市場 (居住用途): } N \sum_{\forall j} P_{ij} b_{ij} = Q_i^H$$

$$\text{建物市場 (業務用途): } S_i = Q_i^B$$

$$\text{土地市場 (居住用途): } B_i^H = Y_i^H$$

$$\text{土地市場 (業務用途): } B_i^B = Y_i^B$$

(5) 交通行動モデル

(5.1) 分布交通量

前述の土地利用モデルより, ゾーン ij 間の通勤目的 T_{ij}^C , 買い物目的 T_{ij}^S の分布交通量が, $T_{ij}^C = NP_{ij}$, $T_{ij}^S = \left(\frac{N}{d}\right) \left(\sum_{s=1}^N P_{is} Z_{j|is}\right)$ と求まる. しかし, 買い物・通勤目的以外の発生トリップ T_{ij}^{NR} も実際には存在するので, ゾーン ij 間で発生する総トリップ数 T_{ij} は $T_{ij} = T_{ij}^C + T_{ij}^S + T_{ij}^{NR}$ である.

(5.2) 交通手段選択

m_{ij}^k , t_{ij}^k をゾーン i, j 間の交通手段 k の片道の金銭的費用, 所要時間, τ , ζ は重み係数とし (i, j) 間の総費用関数を $c_{ij}^k = \tau m_{ij}^k + \zeta t_{ij}^k$ で定義する. ここで往復の交通に要する総費用を $C_{ij}^k = c_{ij}^k + c_{ji}^k$ と定義すると, ゾーン i, j 間を交通手段 k で往復する際の効用 V_{ij}^k は, $V_{ij}^k = C_{ij}^k + MA_{ij}^k + \xi_{ij}^k$ と表現される. MA_{ij}^k は交通手段 k 固有の定数, ξ_{ij}^k は誤差項は $i.i.d$ のガンベル分布であると仮定すると, 交通手段 k を選択する確率は以下のロジットモデルで定式化される.

$$\omega_{ij}^k = \frac{\kappa_{ij}^k \exp(V_{ij}^k + MA_{ij}^k)}{\sum_n \kappa_{ij}^n \exp(V_{ij}^n + MA_{ij}^n)}$$

ただし, κ_{ij}^k は交通手段 k が利用できるときは 1, 利用できないときは 0 を表す.

これを用いて, ゾーン ij 間の交通手段 k の交通量 T_{ijk} は, $T_{ijk} = \omega_{ij}^k T_{ij}$ で表される.

(5.3) 交通配分

前節の手段選択モデルを適用し, ある交通手段における目的別の交通需要が実際の交通ネットワークに交通フローとして変換される.

$$G_{ij} = \sum \omega_{ij}^k (t_{ij}^k + t_{ji}^k), \quad g_{ij} = \sum \omega_{ij}^k (m_{ij}^k + m_{ji}^k)$$

3 シミュレーション分析

本研究で扱うモデルは, 居住地地代 r^H , 業務地地代 r^B , 賃金率 w を内生変数とする非線形連立方程式体系として記述される. 計算過程は (1) ゾーン間トリップ時間 G_{ij} , トリップ費用 g_{ij} を所与としたときの居住地地代 r^H , 業務地地代 r^B , 賃金率 w をライン・サーチ法を加えたニュートン・ラプソン法により求め, 均衡状態において導出された各指標値からゾーン ij 間トリップを算出し, (2) この分布交通量をもとに交通手段選択, 実際の交通ネットワークに交通配分を行い, 交通市場が均衡した時点で得られる G_{ij} , g_{ij} と (1) で所与としていた値との差が十分小さければモデル全体として収束したとみなす. 値の差が十分小さくなければ, (2) で得られた G_{ij} , g_{ij} を (1) での値として代入し, 収束するまでこの作業を繰り返す. 土地利用モデルと交通モデルの両者が収束した点を全体での均衡点とする.

本研究では, パーソントリップ調査, 土地利用調査等によるデータを用い, Hiep(2014)[3] と同様, 家計, 企業, 交通モデルのパラメータは Hiep(2014) と同じ値を使用した. 新たにモデルに追加した開発者行動のパラメータに関しては, データの入手制約上, 仮想的にデータを設定した. 2030 年をターゲットとした都市圏におけるハノイマスタープランを政策分析の対象とし, 郊外に新たな副都心を開発した場合 (case1) と, 副都心開発にあわせて副都心と現在の都心とを結ぶ鉄道整備を行った場合 (case2) を想定し, 分析を行った.

4 おわりに

開発者の床供給行動を考慮し一般均衡理論体系と整合的な CUE モデルの構築を行い, ハノイ都市圏におけるマスタープランにおける副都心開発や鉄道整備のもたらす影響を評価した. なお紙面の都合上, 分析結果については講演時に発表する.

参考文献

- [1] 低炭素まちづくり実践ハンドブック, 平成 25 年 12 月, 国土交通省, 都市局都市計画課
- [2] 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, Vol.68, No.4, 333-343, 2012
- [3] Nguyen Trong Hiep: Economic Evaluation of Transportation Infrastructure Development with Computable Urban Economic Model -A Case of Hanoi, 京都大学博士論文, 2014