

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*

Sensitivity Analysis on Spatial and Entity Aggregation in Land-Use Micro Simulation Model*

杉木直**・宮本和明***

By Nao SUGIKI・Kazuaki MIYAMOTO

1. はじめに

交通プロジェクトの評価や公共サービスの需要予測を目的とした土地利用モデルは、従来、集計化された立地主体やゾーンを対象とした均衡理論に基づいて構築されてきた。しかし、短期的な均衡状態が想定できる交通モデルとは異なり、土地利用は交通プロジェクトの導入に対して継続的かつ緩やかに、また経路依存性を持って変化する。従って、均衡理論に基づくこれらのモデルには、土地利用の将来分布の表現に限界がある。

これらに対し、個別の主体の行動原理をモデル化し、それらの積み上げの結果として都市全体の動向を表現するマイクロシミュレーションは、詳細な主体属性の考慮、主体行動の相互作用や経路依存性の表現など、土地利用分布の将来予測に対して大きな可能性を持っている。近年では、海外を中心として Waddell¹⁾、Wegener²⁾、Hunt³⁾らにより、土地利用-交通マイクロシミュレーションモデルの構築が行なわれている。しかし、集計化に対するシミュレーションの基本特性や、プロジェクト評価手法への活用可能性に関しては十分な議論がなされていない。

そこで本研究では、時空間要素に対する非集計性を考慮し、これらの集計効果を分析可能な居住立地マイクロシミュレーションモデルを構築し、特に空間的分析単位および主体グループの集計設定が土地利用マイクロシミュレーションにおいて与える影響を明らかにすることを目的とした分析を行なう。本稿では、モデル構造およびサブモデルの設計を示し、線形仮想都市を対象とした空間集計・主体集計に対する感度分析を実行し、これらの集計が結果に与える影響を検証する。

*キーワード：土地利用、住宅立地、マイクロシミュレーション

**正員、修(情報)、群馬大学工学部建設工学科

(〒376-8515 群馬県桐生市天神町一丁目5番1号、

TEL0277-30-1652, FAX0277-30-1601,

E-mail:sugiki@ce.gunma-u.ac.jp)

***フェロー、工博、東北大学東北アジア研究センター

2. 居住立地マイクロシミュレーションモデルの構築

(1) モデル構造

モデルの概要を図1に示す。本研究では居住立地へのみ対象を限定したモデリングを行っており、商業施設、交通行動、住居ストックについては、世帯の転居行動に対して直接的に影響を与えないものと仮定し、外生的に与える。各シミュレーションステップにおいては、個人・世帯属性遷移、転居発生、転居先選択、地価の各サブモデルが逐次的に操作され、次期の世帯立地分布が準動的にシミュレートされる。重回帰モデルである地価モデルを除く各サブモデルにおいては、各事象の発生確率に基づくモンテカルロシミュレーションにより結果が表現される。また、本モデルは時間・空間・主体の3要素に対する集計レベルをモデルユーザーが外生的に与えてシミュレーションを行なうことが可能な機能を有している。時間集計レベルすなわちシミュレーションタイムステップの可変性は、次節に示すようにハザードモデルの応用により実現可能である。空間に関しては、主体の立地対象である土地および住居についても非集計的な取扱いのもとでモデル化し、その集計化を考える。また、通常個々の要素として取り扱われる立地主体を、集計化されたグループ単位で取り扱うことが可能となっている。

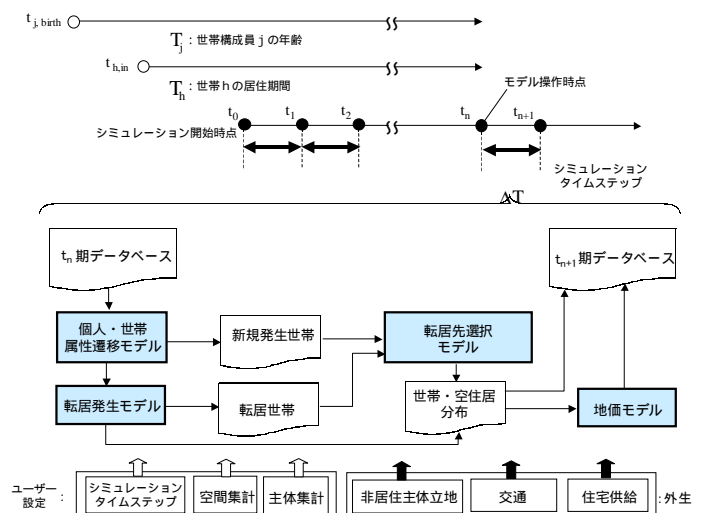


図1 モデル構造

(2) ΔT の可変性を考慮した事象発生確率

時間集計の影響を分析可能な構造とするため、シミュレーションタイムステップ ΔT の可変性を考慮した事象発生確率を、生存期間解析に用いられるハザードモデル⁴⁾を応用して定義する。本研究で定義すべき確率は、主体 i の時点 t_n における生存期間を T_i とすると、主体 i に対して時点 t_n までに目的事象が発生しなかったとして時点 $t_n + \Delta T$ までに目的事象が発生するという条件付き確率 P であり、式(1)のように表現される。

$$P(T_i, \Delta T) = \frac{F(T_i + \Delta T) - F(T_i)}{1 - F(T_i)} = 1 - \frac{S(T_i + \Delta T)}{S(T_i)} \quad (1)$$

ここで、 F は累積確率関数、 $S(T_i)$ は期間 T_i までに目的事象が発生しない確率を表す生存関数である。

(3) 個人・世帯属性遷移モデル

個人・世帯属性遷移モデルでは各世帯構成員に対して加齢、就学・就業、死亡、子世代の離家、結婚、出生の6事象を順に考慮し、個人の属性変化をモデル化する。新規世帯の発生は離家によって記述され、収入および世帯人員数などの世帯属性の遷移はこれらの個人属性遷移を世帯あたりで集計した結果によって表現される。加齢以外では、統計データから各事象の基準累積確率を算定し、式(1)において世帯構成員の年齢 T_j を生存期間 T_i として事象発生確率を導出し、モンテカルロシミュレーションにより各事象の発生の有無を表現する。

(4) 転居発生モデル

転居発生モデルでは、収入および世帯人員といった世帯属性と、住居の広さや居住費用といった現住居の属性を評価し、各世帯が転居行動を行うか否かという選択を表現する。式(1)に相当する転居発生確率 P を、居住継続期間 $T_{r,h}$ の関数として以下のように導出する。

$$P(T_{r,h}, V_{h,i}, \Delta T) = \frac{F(T_{r,h} + \Delta T, V_{h,i}) - F(T_{r,h}, V_{h,i})}{1 - F(T_{r,h}, V_{h,i})} \quad (2)$$

$$= 1 - \frac{S(T_{r,h} + \Delta T, V_{h,i})}{S(T_{r,h}, V_{h,i})}$$

本研究では、事象発生の基準確率密度分布にパラメトリックに分布形を仮定する加速モデルを適用し、生存関数を式(3)のように表す。

$$S(T_{r,h}, V_{h,i}) = S_0(\exp(-V_{h,i}) \cdot T_{r,h}) \quad (3)$$

S_0 : 基準個体 ($V_{h,i} = 0$) の生存関数

住居 i における世帯 h の住居環境共変量 $V_{h,i}$ は式(4)、式(5)を用いて以下のように定義される。

$$V_{hi} = \alpha X'_{hi} + \beta z_h \quad (4)$$

$$y_h = r_i q_i + z_h \quad (5)$$

X_{hi} : 説明変数ベクトル r_i : 住居 i の単位床地代

z_h : 世帯 h の合成財消費 q_i : 住居 i の床面積

y_h : 世帯 h の世帯収入 α, β : パラメータ

転居行動が発生した世帯は転居世帯としてリスト化され、行動が発生しない世帯は次期世帯分布データベースへと更新される。

(5) 転居発生モデル

転居世帯および新規発生世帯は、転居先選択モデルによって次期に居住する住宅の種類と転居先が選択される。また、ここでは選択した住居への転居が可能か否かの判定を行い、条件のよい住宅に対して入居を希望する世帯の競合を考慮する。転居世帯 h が住居 i を選択する確率 P_{hi} を式(6)で表す。

$$P_{hi} = \frac{\exp U_{hi}}{\sum_{k=1}^{n_r^e} \exp U_{hk}} \quad (6)$$

n_r^e : 空住居数

住居 i における世帯 h の居住効用 U_{hi} は以下のように定義される。

$$U_{hi} = \xi z_h + \zeta X'_{hi} \quad (7)$$

$$y_h = r_i q_i + z_h \quad (8)$$

X'_{hi} : 説明変数ベクトル ξ, ζ : パラメータ
各世帯は空住居に対する完全情報を持ち、全ての空住居の中から P_{hi} を基にしたモンテカルロシミュレーションにより翌期の住居を選択する。シミュレーションにおいては離家世帯と転居発生世帯によって構成される転居判定対象世帯をランダムソートして選択順を決定し、順番に転居先選択を行わせることで立地の競合を表現する。

(6) 地価モデル

地価モデルでは、世帯の立地密度に影響される地価の変動を記述する。地価の変動は、各住居の床地代の変動へとつながり、結果的に世帯の転居意志の発生確率および転居先選択確率に影響を与える。地価モデルを式(9)で定義する。

$$p_i = \gamma X''_i + \lambda d_i \quad (9)$$

p_i : 住居 i の立地点における地価

X''_i : 説明変数ベクトル

d_i : 住居 i の周辺における世帯立地密度

γ, λ : パラメータ

単位床面積あたりの床地代 r_i は利子率 0.05 を仮定して下式により与える .

$$r_i = 0.05 \cdot p_i \quad (10)$$

3. シミュレーションの設定

(1) モデルパラメータの設定

上記の各サブモデルのパラメータは、1998 年住宅需要実態調査、1998 年仙塩広域都市圏都市計画基礎調査、1992 年仙台都市圏パーソントリップ調査等の各種統計調査データを使用して推定した。推定結果については、紙面の都合上割愛する。

(2) 線形仮想都市の設定

図 2 に示すような線形仮想都市に対して構築されたモデルを適用して、世帯の転居マイクロシミュレーションを実行する。仮想都市は CBD から左右に 10km、総延長 20km の 1 次元軸都市であり、1 世帯が入居可能な戸建持家、集合借家の 2 タイプの住宅が 20m 間隔で均等に存在するものと設定する。ここでは、域外への転出、域内への転入は考慮しない。また新規の住居開発等は考慮せず、住居の質、量は変化しないものとする。初期状態においては、年齢 25 歳の夫婦世帯が、CBD から一軒おきに均等に居住しているものとする。これらの世帯の初期居住年数は 10 年とする。また、立地点 i における交通条件を表すアクセシビリティ A_i については、統計データから推定された結果を基に、CBD からの距離 x_i を変数として式(11)で与えられるものとする。

$$A_i = 14.53 \cdot \ln(x_i + 1) + 6.55 \quad (11)$$

4. 分析結果

(1) 空間集計

以下の分析においては、タイムステップを 1 年、分析期間 60 年と設定したシミュレーションを 100 回試行した結果を用いている。まず、仮想都市に対して 200m、400m、1000m の空間集計レベルを設定して分析を行った。これらは、各ゾーンに建物タイプ別に 10 軒、20 軒、50 軒の住宅を含んでおり、立地選択に際してこれらは無差別であるものとする。立地競争はゾーン内の全ての住宅が世帯によって占有されている場合にのみ生じるものとする。図 3 に、

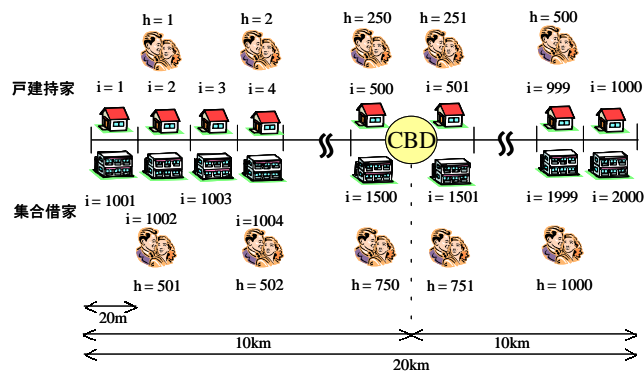


図 2 仮想都市

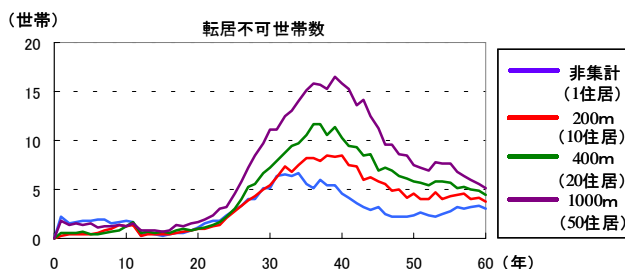
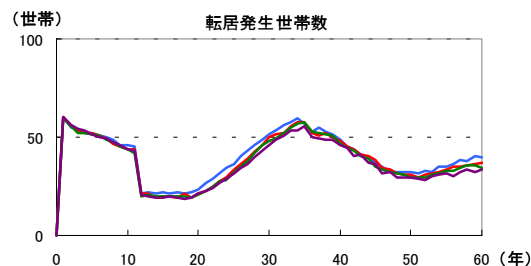


図 3 転居行動に対する空間集計レベルの影響

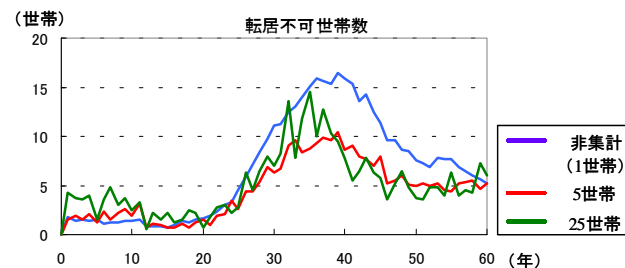
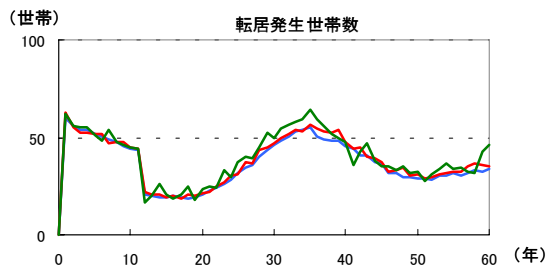


図 4 転居行動に対する主体集計レベルの影響

各空間集計レベルと空間非集計の場合における、転居行動が発生した世帯および転居が達成されなかった世帯数の経年推移を示す。いずれの集計レベルにおいても、転居発生世帯数に関しては空間非集計の場合と同様の結果が得られた。しかし、これらの内立地競争により転居達成されなかった世帯を見ると、集計レベルが大きいほどシミュレーション後半においてその数が増加することがわかる。これは、集計

化によって選択肢となる住居の多様性が損なわれた結果、都市内の世帯数が急激に増加するこれらの期間において利便性の高いゾーンへ世帯の立地が集中するためである。従って、過度な空間集計は時間の経過に対して立地競争を均一に評価せず、歪みを生じる可能性が指摘される。

(2) 主体集計

立地主体を5世帯、25世帯ごとにグループ化した主体集計レベルを設定し、同様の分析を行った。主体集計に対応して選択対象である住居についても1000mゾーンで空間集計している。図4に各世帯集計レベルと非集計世帯における転居発生世帯および転居不可世帯の経年推移を示す。空間集計の場合と同様に、転居発生世帯数については歪みが見られないが、転居不可世帯数に関してはシミュレーション後期で非集計の場合に比べて少なくなっている。図3の空間・世帯いずれも非集計で行った場合に比較すると、立地競争の発生が抑えられており、主体集計は空間集計の歪みを緩和するものと考えられる。

(3) アクセシビリティの改善

交通プロジェクトの導入によって式(11)で表されるアクセシビリティが改善される場合についてシミュレーションを行う。アクセシビリティ改善としては以下の2種類を設定した。

P1：都市全域において CBD への所要時間が 1/2 に改善される場合

P2：都市の右半分のみ CBD への所要時間が 1/4 に改善される場合

図5は改善有り無しの場合各々100回の試行から、各試行ごとにシミュレーション終了時点での居住効用の上昇値を算出し、その値ごとに試行回数を縦軸としてグラフ化したものである。平均値の比較から、P1は戸建住宅に対して、P2は集合住宅に対して優位性があることがわかる。また、いずれの施策も戸建住宅の世帯に対する効用の上昇効果が高いが、その反面戸建住宅の効用上昇値は非常に分散が大きくなっており、効用の上昇値に対する不確実性が集合住宅に比べて高いことが推測される。これらの結果は、唯一の結果のみを与える均衡分析では表現し得ないリスクの評価を、マイクロシミュレーションが表現可能であることを示している。

効用上昇値の平均値・分散に関して同様の分析を

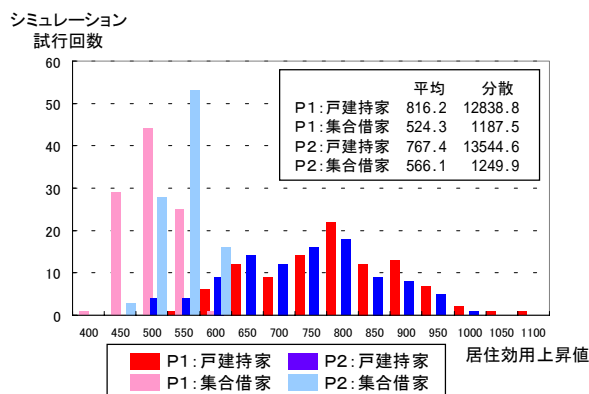


図5 アクセシビリティ改善による居住効用上昇(T=60)

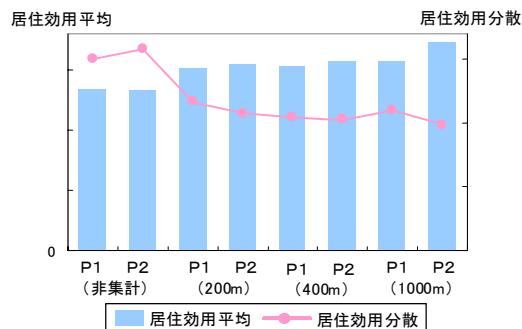


図6 居住効用上昇への空間集計レベルの影響(T=60)

各空間集計レベルにおいて行った結果を、図6に示す。これらより、空間集計レベルが大きいほど効用上昇値は過大推計されることがわかる。また、空間非集計の場合に比較して、分散は小さくなっている。これは、集計化によって土地利用変化の経路依存性が過小評価されることにより、生ずるべき結果の多様性が損なわれることを示している。

4. おわりに

集計の影響評価が可能な居住立地マイクロシミュレーションモデルを構築し、仮想都市において空間集計および主体集計が結果に与える影響を分析した。今後はモデルの精緻化を図り、シミュレーション特性の更なる把握を行うとともに、プロジェクト評価への活用可能性を検討したいと考えている。

【参考文献】

- 1)Waddell, P.A. : UrbanSim, Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning, the Journal of the American Planning Association, 2001.
- 2)Simmonds, D : The design of the DELTA land-use modelling package, Environment and Planning B, Vol.26, No.5, pp.665-684, 1999.
- 3)Hunt, J D et.al. : Design of a statewide land use transport interaction model for Oregon, 9th World Conference of Transport Research, CD-ROM, 2001.
- 4)DA. Hensher and FL. Mannering : Hazard-based Duration Models and Their Application to Transport Analysis, Transport Reviews, Vol.14, No.1, pp.63-82, 1994.