

# オープンデータを用いたメッシュベースの マイクロシミュレーション型都市モデルの構築

長尾 将吾<sup>1</sup>・杉木 直<sup>2</sup>・鈴木 温<sup>3</sup>・松尾 幸二郎<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学専攻 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

E-mail: s173523@edu.tut.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 豊橋技術科学大学准教授 建築・都市システム学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

E-mail: sugiki@ace.tut.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 名城大学教授 理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒468-8520 名古屋市天白区塩釜口1-501)

E-mail: atsuzuki@meijo-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 豊橋技術科学大学助教 建築・都市システム学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

E-mail: k-matsuo@ace.tut.ac.jp

多様な属性を考慮可能なマイクロシミュレーション型都市モデルは人口動態の詳細な予測手法として有用と考えられている。一方で、マイクロシミュレーションを実行する際に必要となる詳細な世帯属性情報や住み替えの情報などは一般に公開されていない。そのため大規模なアンケート調査より得られる世帯サンプルデータを用いたモデルが一般的に提案されているが、分析手法としての汎用性が課題となっている。そこで、本研究では入手可能なオープンデータを使用し、マイクロシミュレーション型都市モデルによる人口・世帯分布の将来推定システムを構築し、実都市を対象にモデルを適用する。その結果、初期世帯マイクロデータの妥当性、再現性を確認した。さらに、オープンデータを用いた将来都市構造予測モデルの妥当性を検証する。

**Key Words :** *Urban micro-simulation, Household micro-data, Open-data, Urban structure prediction*

## 1. はじめに

現在、日本では人口減少や少子高齢化に伴い、中心市街地の衰退、都市機能の低下等が進行している。このような問題に対して、立地適正化計画を通じて居住地や都市機能の立地誘導を促す政策が各地で展開されている。こうした中、都市内における人口分布・世帯構造の詳細な将来予測や誘導政策の評価などは都市生活者の属性を考慮した、より綿密な都市政策のために重要である。都市内の将来人口予測については、コホート要因法が用いられることが多い。コホート要因法では、メッシュなどの空間単位での人口や世帯数などの集計値を最小単位として扱うことが一般的であり、過去の人口移動率に基づき将来の人口を予測する。そのため、非線形的な人口動態や都市生活者の詳細な属性を表現しにくいといった問題がある。そこで、個人や世帯を最小単位として操作することで、人口・世帯分布、世帯構造の将来予測、都市政策の効果等を分析できる、マイクロシミュレーション

型都市モデルが提案されている。先駆的な研究として、林ら<sup>1)</sup>がモンテカルロシミュレーションによる個人のライフサイクルとそれに伴う世帯立地移動のモデル化を行い、サンプルデータを用いて計算を行っている。さらに、近年は土地利用と交通の相互作用が広く認知される中、土地利用と交通の変化を経年的に記述するための分析手法として、マイクロシミュレーションを用いた都市モデルに対する関心が高まっている。欧米諸国ではいくつかの研究グループによって研究事例や実都市への適用事例の蓄積が進められている<sup>2,3,4,5)</sup>。土地利用-交通モデルにおけるマイクロシミュレーションの位置付けについては、その発展の方向性がWegener<sup>6)</sup>によって整理されている。加えて、マイクロシミュレーション型都市モデルに関する研究では、世帯サンプルデータを用いて都市内の世帯マイクロデータの初期分布を生成する研究もなされている<sup>8)</sup>。また、鈴木ら<sup>9)</sup>は、初期世帯マイクロデータを用いて、マイクロシミュレーションによって都市内の将来人口分布を予測している。しかし、これらの手法は、アン

ケート調査より得られる世帯サンプルデータを用いており、分析手法としての汎用性も課題となっている。

以上を踏まえ、本研究では入手可能なオープンデータのみを用いたマイクロシミュレーション型都市モデルを構築することを目的とする。また、実都市を対象にモデルを適用し、モデルの妥当性や、オープンデータ利用の可能性を検討する。

## 2. モデルの基本構造

本研究で構築するマイクロシミュレーション型都市モデルの基本構造を図-1に示す。まず、シミュレーション初期年次における世帯マイクロデータを作成する。国勢調査等から入手可能な人口・世帯構成割合を周辺分布として、モンテカルロ法により個人・世帯の属性を生成する。次に、世帯マイクロデータにおける個人属性の変化をライフイベント発生モデルにより表現する。シミュレーションのタイムステップごとにライフイベント（加齢・死亡・離婚・結婚・出生・就業・就学・免許保有状態・独立（離家）・転居）を確率的に発生させる。このような、個人・世帯属性の変化を考慮して、世帯の転居を判定する。一方で、対象地域外からの転入世帯は地域内の世帯マイクロデータとは別に生成され、人口・世帯フレームとの差分によって算出される。その後、域内転居、転入世帯に対して、転居先の住宅タイプや居住ゾーンの選択といった転居における立地選択を表現する。最後に、地価モデルにより地域内の立地変化に伴う地価の変化を表現する。これらのサブモデルをシミュレーションタイムステップごとに繰り返すことで、将来の都市構造を予測する。

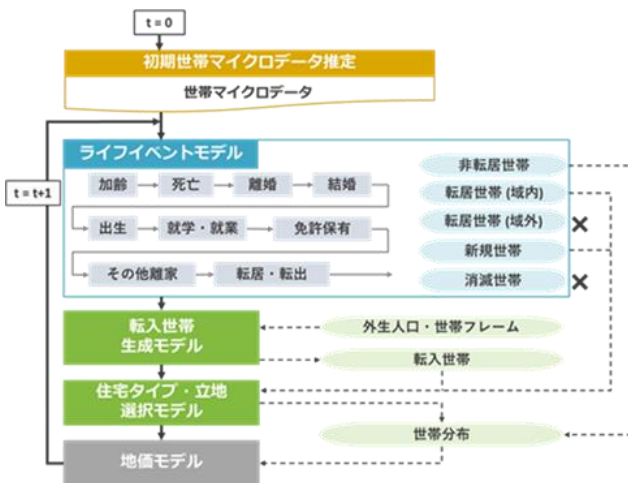


図-1 マイクロシミュレーション型都市モデルの基本構造

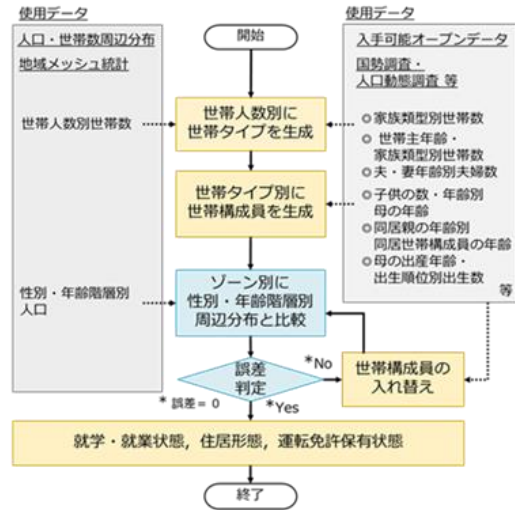


図-2 初期世帯マイクロデータ推定フロー

表-1 世帯タイプ

世帯人数	世帯タイプ	世帯構成員	世帯人数	世帯タイプ	世帯構成員
1	11, 12	单身	5	51	夫婦+子供3人
		夫婦のみ		52	両親+夫婦+子供1人
		男親+子供1人		53	親1人+夫婦+子供2人
		女親+子供1人		50	その他
2	20	その他	6	61	夫婦+子供4人
		夫婦+子供1人		62	両親+夫婦+子供2人
		男親+子供2人		63	親1人+夫婦+子供3人
		女親+子供2人		60	その他
3	30	親1人+夫婦	7	71	夫婦+子供5人
		その他		72	両親+夫婦+子供3人
		夫婦+子供2人		73	親1人+夫婦+子供4人
		女親+子供3人		70	その他
4	40	両親+夫婦	8	81	夫婦+子供6人
		親1人+夫婦+子供1人		82	両親+夫婦+子供4人
		その他		83	親1人+夫婦+子供4人
		その他		80	その他

## 3. 初期世帯マイクロデータ推定

### (1) 推定の基本構造

本研究で構築した、初期世帯マイクロデータ推定についての全体フローを図-2に示す。国勢調査等のオープンデータのみを使用し初期世帯マイクロデータを推定する。まず、対象地域における性別年齢別人口および世帯人数別世帯数を周辺分布として設定する。次に、対象地域内の家族類型や人口構成割合に基づき世帯タイプを生成し、世帯構成員の世代、性別、年齢、婚姻関係等の属性を付加する。その後、ゾーンごとに世帯マイクロデータと周辺分布を調整する。さらに、就業・就学形態、住居タイプ、免許保有状況を対象地域における構成割合に基づき確率的に決定する。

### (2) 周辺分布の作成

対象地域においてメッシュ別に、性別年齢階層別人口と世帯人数別世帯数から算出される人口を調整し、一致させる。その際、秘匿メッシュに関しては合算メッシュの人口・世帯数割合を基準に決定する。また、施設等世帯も考慮する。

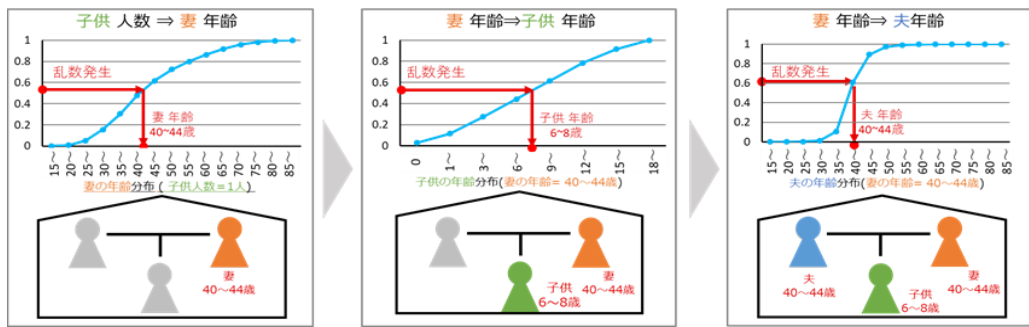


図-3 世帯構成員の生成

(3) 世帯タイプの生成

国勢調査の家族類型16カテゴリおよび世帯人数のクロス集計より、世帯タイプを表-1のように設定する。この時、構成割合が低いものや家族類型（世帯主との続き柄）が不明瞭な世帯は、“その他世帯”に統合する。世帯人数ごとの世帯タイプ構成割合に基づいて、モンテカルロ法により世帯タイプを確率的に生成する。

(4) 世帯構成員の生成

モンテカルロ法により、生成した世帯タイプ別に世帯構成員の属性（世代、性別、年齢）を確率的に生成する。この時、夫婦や子供と親の年齢関係を考慮する。使用データは国勢調査の“家族類型別世帯主年齢”，“子供の数・年齢別母の年齢”，“夫婦の年齢別夫婦数”，“同居親との年齢関係”，および、人口動態調査の“母の出生年齢・出生順位別出生数”である。子供の性別は50%の確率で付加する。夫婦と子供1人から成る世帯について、世帯構成員生成の例を図-3に示す。

(5) 周辺分布に対する調整

周辺分布に対して誤差を持つ年齢階層の世帯構成員を含む世帯をランダムに抽出し、世帯タイプおよび世帯構成員を再生成する。ゾーンごとにこの操作を繰り返すことで、世帯マイクロデータを周辺分布に対して調整する。処理フローを図-4に示す。これにより、個人・世帯属性の空間的不均一性を考慮し、周辺分布と一致する初期世帯マイクロデータを生成する。

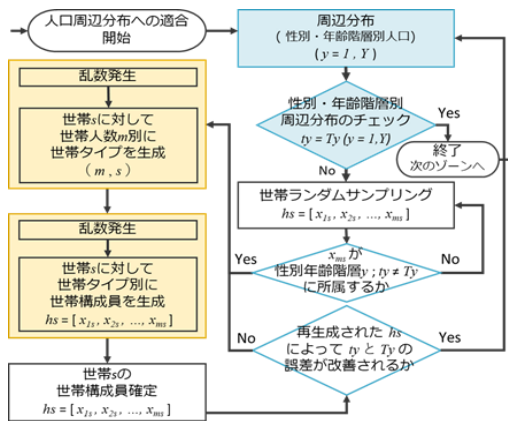


図-4 周辺分布との調整フロー

(6) 就業・就学状態

世帯構成員の就業形態は，“フルタイム職”，“パートタイム職”，“学生”，“無職”の4タイプを設定する。国勢調査の就業状態基本集計より、就業状態4タイプ別の構成割合を、性別、年齢、配偶者の有無別に算出する。算出した割合を周辺分布として、モンテカルロ法により確率的に属性を割り当てる。特に、6歳以下の未就学児は“無職”，15歳以下の未成年には“学生”を付加する。16歳以上24歳以下の個人に対しては、高校、短大・大学、大学院への進学率を考慮して、就学率を算出する。進学率は、対象地域における学校基本調査の“卒業時の状況調査”より、進学者数を卒業生数で割って算出する。

(7) 住居形態

住宅タイプは，“持家戸建”，“持家/集合住宅”，“賃貸戸建”，“賃貸/集合住宅”の4タイプに分類する。まず、小地域集計における“住居の種類・所有関係別世帯数”より小地域別に“持家”と“賃貸”の割合を算出する。また，“住宅の建て方別世帯数”より、小地域別に“戸建”と“集合”の割合を算出する。次に“賃貸”の割合が“集合”の割合よりも小さい場合，“賃貸”はすべて“集合と仮定して”賃貸集合の割合を算出する。この時、残りの集合の割合を“持家集合”とし、残りの戸建を“持家戸建”とする。一方で，“賃貸”の割合が“集合”の割合よりも大きい場合，“集合”はすべて“賃貸と仮定して”賃貸集合の割合を算出する。この時、残りの賃貸の割合を“賃貸戸建”とし、残りの戸建を“持家戸建”とする。算出した割合を周辺分布として、モンテカルロ法により確率的に属性を割り当てる。

(8) 運転免許保有状態

免許保有状態は，“保有有”と“保有無”に分類される。対象地域における国勢調査の“性別年齢別人口”および、運転免許統計の“年齢別運転免許保有者数”を使用する。人口に対する運転免許保有者数から、性別年齢別免許保有割合を算出する。算出した割合を周辺分布として、モンテカルロ法により確率的に属性を割り当てる。



## 4. 将来都市構造予測モデル

### (1) ライフイベント発生モデル

#### a) 加齢イベント

加齢イベントでは、シミュレーションタイムステップごとに、生存しているすべての個人の年齢に1を加える。加齢した年齢を基準に、これ以降のライフイベントの発生確率を与える。

#### b) 死亡イベント

生存しているすべての個人における死亡を判定する。累積生存関数にワイブル分布を仮定した生存時間解析によって性別年齢別に死亡確率を推定する。ワイブル分布の累積生存関数 $S(t)$ は次の通りである。

$$S(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right\} \quad (t \geq 0) \quad (1)$$

ここで、 $t$ は年齢（生存時間）、 $\alpha$ 、 $\beta$ はパラメータである。なお、死亡確率は対象地域における“生命表”の統計データを基に算出する。算出した死亡確率に基づき、モンテカルロ法により各個人の死亡を判定する。死亡した個人は、これ以降、どのライフイベントも発生しない。

#### c) 離婚イベント

既婚者を対象として、離婚を判定する。性別年齢別の離婚者数をその年齢の既婚者数で割ることにより、年齢別離婚確率を算出する。なお、結婚確率の算出には、対象地域における人口動態調査の“夫年齢別離婚件数”、国勢調査の“性・年齢・配偶関係別人口”における男性の年齢別有配偶者数を用いる。算出した夫の離婚確率に基づき、モンテカルロ法により各夫婦の離婚を判定する。また、離婚時の性別構成比率として全国家庭動向調査の“親との同別居割合”における全国平均値を用い、離家者を判定する。さらに、離家者の行先として、“実家（実母のいる世帯）に合流”、“域内で独立世帯を形成”、“域外へ転出”の3パターンを考慮する。域内、域外の判定は、国勢調査の“性別年齢別・原住地別5年前の在住地”より選択確率を算出し使用する。

#### d) 結婚イベント

男性は18歳以上、女性は16歳以上の未婚者を対象として、結婚を判定する。性別年齢別の婚姻件数をその年齢の未婚者数で割ることにより、性別年齢別結婚確率を算出する。なお、結婚確率の算出には、対象地域における人口動態調査の“夫・妻の同居時年齢別結婚者数”、国勢調査の“性・年齢・配偶関係別人口”における有配偶者数を除いた数を用いる。算出した結婚確率に基づき、モンテカルロ法により性別年齢別に各個人の結婚を判定する。本モデルでは、結婚イベントが発生すると判定された個人は、結婚候補者にリストアップされ、リストアップされた男女に配偶者の年齢を割り当てる。この際、国勢調査の“夫婦の年齢別夫婦数”を用いる。リストア

ップされた男女のうち、配偶者の年齢が一致しているペアが存在すれば結婚させる。存在しない場合は、域外から当該年齢の配偶者を転入させ、結婚させる。さらに、世帯の合流・分離については、“夫の世帯に合流する”、“妻の世帯に合流する”、“どちらの親とも同居しない”の3パターンを考慮する。この時、全国家庭動向調査の“親との同別居割合”における全国平均値を用いる。

#### e) 出生イベント

既婚女性を対象者として子供の出生を判定する。既婚女性（16歳～49歳）を対象として母の年齢別出生順位別の出生確率を与える。本モデルでは、出産回数の上限を6回とし、出生順位別に出生確率を推定する。本モデルでは、次に示すような一般化対数ガンマ分布を用いて出生確率の推定式を求める。パラメータの推定には、人口動態調査の“母の年齢・出生順位別出生数”を使用する。

$$g_n(x) = \frac{C_n \Gamma(\lambda_n)}{b_n \Gamma(\lambda_n^2)} (\lambda_n^2)^{\lambda_n^2} \exp\left[\lambda_n^{-1} \left(\frac{x-u_n}{b_n}\right) - \lambda_n^2 \exp\left\{\lambda_n \left(\frac{x-u_n}{b_n}\right)\right\}\right] \quad (2)$$

ここで、 $g_n(x)$ は $x$ 歳の女性の第 $n$ 子の出生確率、 $\Gamma(\cdot)$ はガンマ分布であり、 $C_n$ 、 $u_n$ 、 $b_n$ 、 $\lambda_n$ はパラメータである。使用データは人口動態調査の“母の年齢・出生順位別出生数”である。

#### f) 就業・就学イベント

16歳、19歳、21歳、23歳、25歳の個人について、それぞれ進学率を与え、進路を決定する。進学率については、学校基本調査の“卒業後の状況調査”において進学人口を卒業人口で割ったものを用いる。なお、就職の場合は学生以外の職業割合を用いてモンテカルロ法により新たな職業に更新する。また、16歳、19歳、21歳、23歳、25歳の個人に対して、進学・就職時の離家判定（在留、域内、域外転出）を行う。また、域外転出する学生は19歳、21歳、23歳、25歳のタイミングで、元の世帯に戻る可能性があるため、域内の個人のマイクロデータとは別に、情報を保持しておく。また、タイムステップごとに転職を表現する。まず、就業状態構成割合の変化に伴い発生する転職対象者に、ランダムに職業を割り当て、就業状態構成割合を更新する。その後、各職業から一定割合の個人をランダムに選択し、職業間でランダムな遷移を発生させる。以上により、就業状態構成割合の変化のために最低限必要な転職および、一定数の摂動的な転職を表現しつつ、大多数の個人について、前年の職業を継続させることとする。

#### g) 免許保有状態更新

18歳以上の個人を対象として、運転免許の取得および返納を判定する。性別年齢階層別に免許取得率および返納率を算出する。使用するデータは、国勢調査の“性別年齢別人口”および、運転免許統計の“年齢別運転免許保有者数”である。初期世帯マイクロデータ推定時に使用した免許保有率を1年スライドし、ある年齢階層におけ

る保有率の上昇を取得率，減少を返納率として算出する。算出した取得率および返納率に基づき，モンテカルロ法により性別年齢別の免許保有状況を判定する。

#### h) 独立（離家）

離婚，就職・進学による離家とは別に，性別年齢別離家者数を用いて個人の離家を判定する。この際，離家者数フレームから離婚，就職・進学による離家数を除き，不足する場合その数の個人を離家させる。また，未成年のみの世帯は生成されない。

#### i) 転居発生イベント

世帯の転居，域外転出を判定する。この時，国勢調査の“性別年齢別・現住地別5年前の在住地”を使用し，性別年齢別転居・転出率を算出する。これに一致するような転居・転出世帯の組み合わせを探索し，得られた転居・転出世帯の世帯主年齢と世帯人数から，世帯主年齢別世帯人数別転居・転出率を算出する。この転居・転出率に基づき，モンテカルロ法により世帯を転居・転出させる。

### (2) 転入世帯生成モデル

世帯人数別転入世帯数と年齢別転入人口を用いて対象地域外からの転入世帯を生成する。対象地域内の世帯マイクロデータの性別年齢階層別人口および世帯人数別世帯数を集計する。これに対して，シミュレーションタイムステップ $t+I$ 期における人口・世帯数を外生フレームとして与える。この際，人口問題研究所の推計データである“日本の地域別将来人口・世帯数推計”を用いる。地域内集計値と外生フレームとの差を算出することで，転入人口および世帯数を決定する。算出した性別年齢階層別人口および世帯人数別世帯数を周辺分布として，転入人口と世帯人数別転入世帯数が整合するように，初期世帯マイクロデータ生成と同手法で，転入世帯のマイクロデータを生成する。この際，住居形態および居住ゾーン属性は付加しない。また，転入人口にも同様に，就学・就業状態，免許保有状況を付加する。

### (3) 住宅タイプ・居住地ゾーン選択モデル

#### a) 住宅タイプ選択モデル

対象地域内への転居世帯を対象に，住居タイプ選択モデルにより，転居先の住居タイプを決定する。世帯の属性を変数とする多項ロジットモデルにより，住居タイプの選択を行う。世帯 $n$ の住宅タイプの選択集合 $H_n$ は， $H_n = \{i=1(\text{持家/戸建}), i=2(\text{持家/集合}), i=3(\text{賃貸/戸建}), i=4(\text{賃貸/集合})\}$ の4タイプとする。住宅タイプ選択モデルにおける多項ロジットモデルの選択確率および効用関数は次のとおりである。

$$P_{in} = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{i \in H_n} e^{V_{in}}} \quad (i \in H_n) \quad (3a)$$

$$V_{in} = \sum_k \theta_k X_{ink} + c \quad (i \in H_n) \quad (3b)$$

効用関数における世帯特定変数( $X_{ink}$ )として，世帯主年齢，世帯人数，子供の数等を設定する。これにより，現況の世帯分布を考慮した住宅タイプ選択確率を与える。

#### b) 居住地ゾーン選択モデル

対象地域内への転居世帯を対象に，転居先のゾーンを決定する。地域内の各ゾーンから1つのゾーンを選択する多項ロジットモデルにより，居住ゾーンを選択する。居住ゾーン選択モデルでは，4つの住宅タイプごとに選択確率を考える。また，世帯 $n$ の居住ゾーンの選択集合を $Z_n$ としたとき，ゾーン $i$ の選択確率について多項ロジットモデルおよび効用関数は次のとおりである。

$$P_{in} = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{i \in Z_n} e^{V_{in}}} \quad (i \in Z_n) \quad (4a)$$

$$V_{in} = \sum_k \alpha_k X_{ink} + \sum_l \beta_l Y_{inl} + \gamma LP_i + c \quad (i \in Z_n) \quad (4b)$$

効用関数における説明変数として，交通条件や土地条件などのゾーン属性( $X_{ink}$ )，世帯人数，世帯主年齢などの世帯属性( $Y_{inl}$ )，地価( $LP_i$ )を考える。

### (3) 地価モデル

シミュレーションタイムステップ $t+I$ 期末の各ゾーンの地価を，ヘドニック回帰モデルによって算出する。地価モデルは次のとおりである。

$$LP_i = \sum_k \gamma_k X_{ki} + \delta D_i + c \quad (5)$$

駅までの距離や用途地域などのゾーン条件 ( $X_{ki}$ ) および立地密度( $D_i$ )を考慮して地価 ( $LP_i$ ) を算出する。これにより，次期の居住ゾーン選択で用いる地価を更新する。

## 5. モデルの適用

### (1) 対象地域

本研究では，豊橋市（図-5）を対象として，4次メッシュベースでマイクロシミュレーション型都市モデルを構築する。なお，メッシュベースでのモデルの適用は，メッシュ間の計量的比較が容易であり，シミュレーションにおいて徒歩圏環境等も考量できるといった利点がある。平成25年国勢調査における対象地域内の人口有メッシュは787である。メッシュ内総人口は37万4997人，総世帯数は14万4359世帯である。

豊橋市は，中長期を見据えた持続可能なまちづくりをしていくために，立地適正化計画を策定している。都市計画区域全体を立地適正化計画の区域とすることを基本

とし、区域が定められている。都市機能区域は、医療・福祉・商業などの都市機能を都市の中心拠点や生活拠点に誘導し集約する区域である。居住誘導区域は人口密度を維持することで生活サービスや地域コミュニティが確保されるように居住を誘導すべき区域である。また、豊橋市では独自に“歩いて暮らせるまち区域”を設定し、転居などに関する補助制度を実施している。豊橋市の都市政に関する区域区分を図-5に示す。

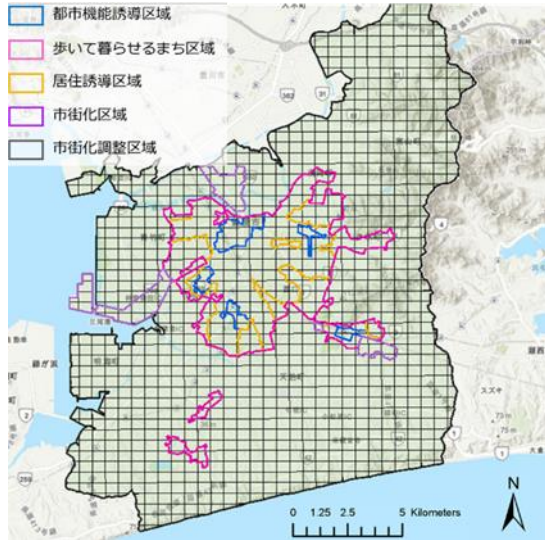


図-5 豊橋市の都市政策に関する区域区分

(2) 使用データ

初期世帯マイクロデータの生成には、国勢調査の地域メッシュ統計を周辺分布として用いる。また、個人・世帯属性の生成には、国勢調査の小地域集計、人口等基本調査、世帯構造等基本調査および、人口動態調査を使用している。いずれも一般に入手可能なオープンデータである。なお、本研究で使用するデータは、平成27年の国勢調査結果である。

6. 初期世帯マイクロデータ推定結果

(1) 国勢調査データとの比較

高齢者のみ夫婦の世帯数をメッシュ別に集計した結果が図-6である。図-2のフローにしたがって生成した初期世帯マイクロデータの結果を推定値（縦軸）、国勢調査の集計値を実測値（横軸）としている。推定値と国勢調査の実測値との間に顕著な差はみられないため、生成した世帯マイクロデータは、概ね実測値を再現できているといえる。一方で、推定結果が実測値に対してやや小さいことが確認できる。本研究では、“その他”世帯の構成パターンをいくつかのパターンに固定したため、世帯構成の多様性が十分に考慮できなかったことが原因と考えられる。

(2) 既存手法との比較

対象地域内の一部地域における、性別年齢階層別世帯内の世代構成割合を図-7に示す。なお、凡例の1桁目は世帯内における世代、2桁目は性別（1=男、2=女）を示している。既存手法における結果は、平成23年PT調査より得られた世帯サンプルデータに基づき世帯マイクロデータを推計したものである。両者を比較しても年齢別世代構成割合に大きな差はみられない。よって、概ね既存手法と同等かつ妥当性のある世帯マイクロデータを推計できたと考えられる。

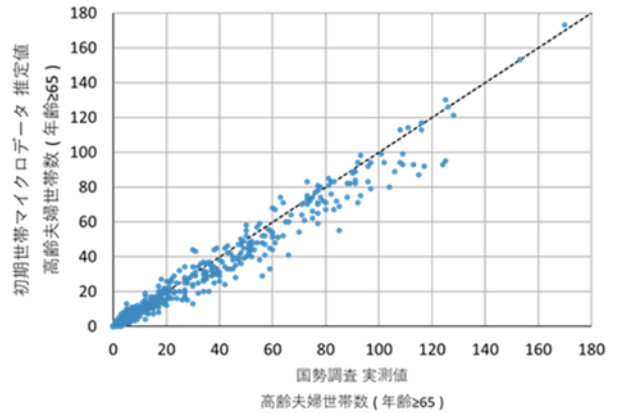


図-6 高齢者のみ夫婦の世帯数

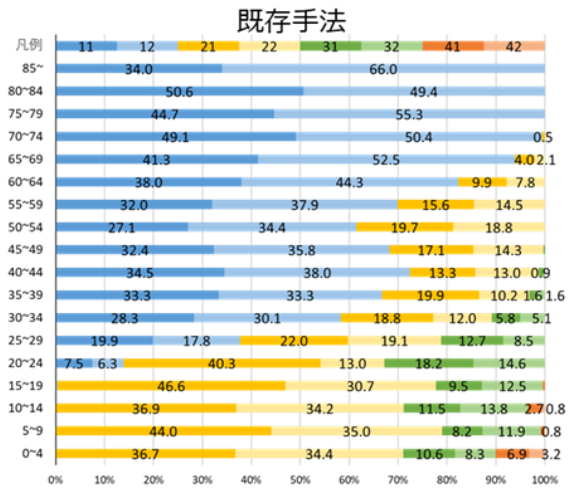
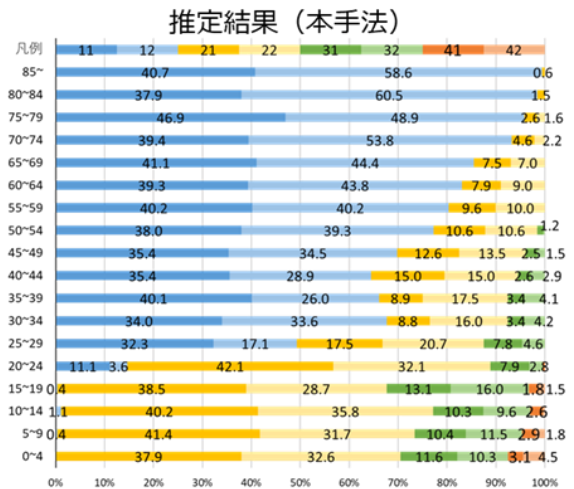


図-7 性別年齢階層別の世代構成割合



## 7. 世帯マイクロデータを用いた空間的分析

### (1) ゾーン別世帯構成

豊橋市の都市政策に関する区域区分ごとの世帯数を図-8に示す。ここでは、65歳以上を高齢者とする。歩いて暮らせるまち区域内の世帯数が最も多く、全世帯のおよそ4割を占めており、次いで市街化調整区域内の世帯数が3割と多いことが確認できる。また、図-9は都市政策に関する区域区分ごとの世帯人数別世帯構成割合である。これより、単身世帯における2~3割が、2人世帯における3~4割が高齢者のみの世帯であることが分かる。また、郊外の市街化調整区域においても、高齢者を含む世帯が存在している。これより、都市機能施設へのアクセスに優れない郊外地域においても、高齢夫婦世帯を中心とした高齢者のみの世帯が一定割合居住していることが確認できる。

### (2) アクセシビリティ

各メッシュ重心から市内の主要病院への所要時間の平均値をメッシュごとに算出した。各メッシュ重心から各病院への所要時間の平均を図-10に示す。メッシュ重心からの出発時刻は午前8時から正午までの20分おきであり、移動手段は徒歩および市内の公共交通（JR、私鉄（豊鉄）、バス（豊鉄バス）、コミュニティバス）としている。結果より、居住誘導区域内では、概ね所要時間は小さいが、郊外の市街化調整区域では所要時間が大きくなり、アクセス性に優れないことが示唆される。また、メッシュ内の世帯数によって重みづけした、アクセシビリティを図-11に示す。いずれの世帯においても、郊外に居住しているほど、アクセシビリティに優れないことが確認できる。このように、世帯マイクロデータを使用することで、高齢者の有無など世帯の詳細な属性を考慮した都市構造の分析・評価が可能となる。

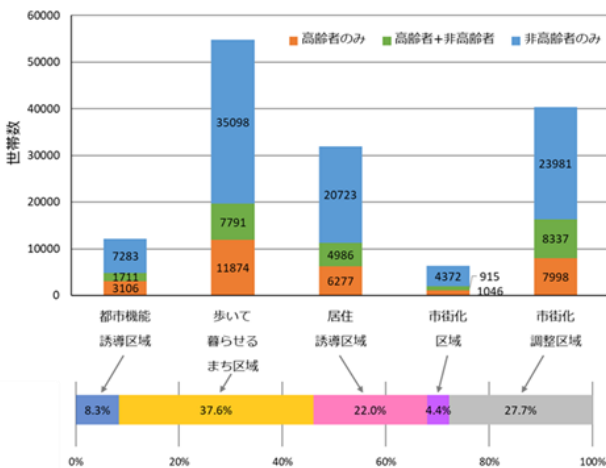


図-8 区域別世帯数



図-9 世帯人数別世帯構成割合

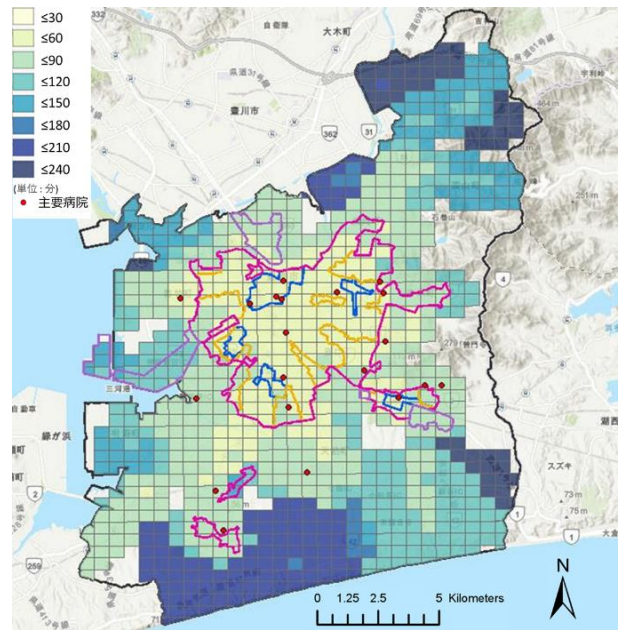


図-10 主要病院へのアクセシビリティ

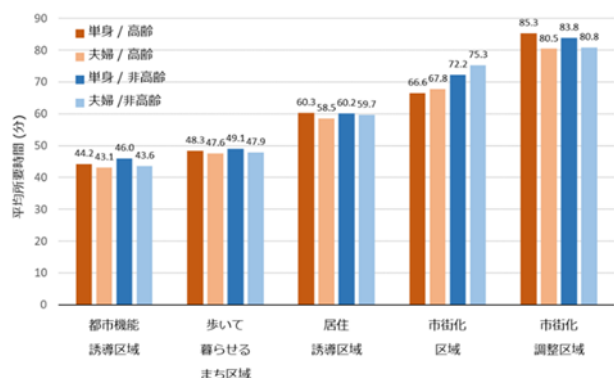


図-11 区域別平均アクセシビリティ

## 8. オープンデータを用いた将来都市構造予測

本研究では、オープンデータのみを用いて初期世帯マイクロデータ推定、および将来都市構造予測モデルの構築を試みた。特に、住宅タイプ・居住地ゾーン選択モデ

ルにおけるパラメータ推定では、説明変数として、世帯年齢、世帯人数、子供の数などの世帯属性を現況の世帯マイクロデータにおける世帯分布より得ている。一方、世帯サンプルデータを用いる既存モデルでは、過去に転居履歴のある世帯サンプルデータを用いてパラメータを推定することが一般的である。将来都市構造予測モデルの構築においては、オープンデータを用いた本手法の妥当性を検証する必要がある。構築したライフサイクルモデルおよび住宅タイプ・居住地ゾーン選択モデルを実都市に適用し、オープンデータのみ利用による、住み替え等の将来都市構造変化の表現可能性について考察する。

## 9. おわりに

本研究では、分析としての汎用性も考慮するため、オープンデータを用いたマイクロシミュレーション型都市モデルの構造や手法を構築した。モデルでは、個人・世帯のマイクロデータを用いて、各個人にライフイベントの発生確率を与えることで人口動態を表現する。ライフイベントとして、加齢、死亡、離婚、結婚、出生、進学・就業、免許取得・返納、転居を考慮した。また、住宅タイプ・居住ゾーン選択モデルを構築することで、世帯の立地選択をモデル化した。一方で、本研究では実都市を対象に、オープンデータを使用し初期世帯マイクロデータの推定を行った。その結果、国勢調査の実測値に対する再現性が確認できた、さらに、既存手法との比較により世帯マイクロデータとしての妥当性も確認された。また、初期世帯マイクロデータを用いた対象地域における分析では、一定割合の高齢者のみ世帯がアクセシビリティに優れない郊外地域に居住していることが確認できた。このように、世帯マイクロデータを用いた空間的な分析は、世帯の属性を詳細に考慮した都市政策評価を実現する可能性を持つ。また、講演時にはライフサイクルモデルおよび住宅タイプ・居住地ゾーン選択モデルを実都市において適用した結果、および将来都市構造変化の表現の妥当性について言及する予定である。さらに、今後は、個人・世帯属性やゾーン属性、立地誘導政策等を考慮した都市構造・政策評価を実施する予定である。

謝辞：本研究はJSPS科研費17K06597の助成を受け、実施しました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 林良嗣, 富田安夫(1988), 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, 土木学会論文集, 第 395 号, pp.85-94
- 2) Waddell, P. (2002) UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning: Journal of the American Planning Association, 68(3), pp.297-314
- 3) Hunt, J.D. Donnelly, R. Abraham, J.E. Batten, C. Freedman J. Hicks, J. Costinett, P.J. and Upton, W.J. (2001) Design of a Statewide Land Use Transport Interaction Model for Oregon: Proceedings of 9th World Conference on Transport Research
- 4) Simmonds, D. (1999) The design of the DELTA land-use modelling package: Environment and Planning B. Vol.26, pp.665-684
- 5) Ettema, D. de Jong, K. Timmermans, H. Bakema, A. (2007) PUMA: Multi-agent modelling of urban systems: Modelling land-use change pp.237-258 Springer
- 6) Wegener, M. and Frurst, F. (1999) Land-Use Transport Interaction: State of the Art, TRANSLAND Integration of Transport and Land Use Planning, Work Package 2 Deliverable D2a, Institute of Spatial Planning, University of Dortmund
- 7) Wegener, M. (2003) Overview of Land-Use Transport Model: Proceedings of CUPUM'03
- 8) Sugiki, N. Muranaka, T. Otani, N. Kazuaki, M. (2015) Agent-based Estimation of Household Micro-data with Detailed Attributes for a Real City: Proceedings of CUPUM'15
- 9) 鈴木温, 杉木直, 宮本和明(2016), 空間的マイクロシミュレーションを用いた都市内人口分布の将来予測, 都市計画論文集, Vol.51, No.3, pp.839-846

(2019.10.4 受付)

## DEVELOPMENT OF GRID-BASED URBAN MICRO-SIMULATION MODEL USING AVAILABLE OPEN DATA

Shogo NAGAO, Nao SUGIKI, Atsushi SUZUKI and Kojiro MATSUO