

世帯マイクロシミュレーションにおける 初期分布の推定の安定性と将来予測精度の検証

杉木 直¹・柏村 晟也²・大谷 紀子³・宮本 和明⁴

¹正会員 豊橋技術科学大学大学院准教授 工学研究科 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)
E-mail: sugiki@ace.tut.ac.jp

²学生会員 東京都市大学大学院 環境情報学研究科 (〒158-8586 東京都世田谷区等々力8-9-18)
E-mail: g1583503@tcu.ac.jp

³正会員 東京都市大学教授 メディア情報学部 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1)
E-mail: otani@tcu.ac.jp

⁴フェロー 東京都市大学教授 都市生活学部 (〒158-8586 東京都世田谷区等々力8-9-18)
E-mail: miyamoto@tcu.ac.jp

マイクロシミュレーションを用いた都市モデルの開発は、欧米諸国を中心として複数の研究グループによって取り組みがなされており、研究事例および実際の都市への適用事例の蓄積が進められているが、モンテカルロシミュレーションを用いた確率的な試行である初期マイクロデータの推定や将来予測結果の安定性や、再現性に関しては十分な検証がなされていない。本研究では、先行研究において多摩田園都市を対象として構築された、郊外ニュータウン地域の住居ストックとそこに居住する世帯のマイクロデータの変化を予測するマイクロシミュレーションモデルを用い、初期マイクロデータ推定の安定性、および複数時点の観測データを用いた予測シミュレーション結果の再現性の検討を行う。初期マイクロデータ推定の安定性は、世帯構成と世帯主年齢で区分したカテゴリごとに推定結果のばらつきにより検証し、予測シミュレーション結果の再現性の検討は2005年を基準年とした2010年の予測結果と観測データをマイクロデータの適合度指標を用いて検証する。

Key Words : Household Micro Data, Micro-simulation, Estimation Result, Stability, Reproducibility

1. はじめに

人口減少下の都市圏においては、従来の画一的な政策手段の実施では、多様化する世帯状況に対する効果は限定的である。限られた資源のもとで効率的に公共サービスを提供するためには、従来よりもきめ細かな視点で、より詳細な世帯属性を考慮に入れた政策手段の選択が不可欠である¹⁾。これは、市民が求める公共サービスの質と量はその人の年齢や属する世帯構成等の個人属性に大きく依存し、その住居と施設の立地分布と交通状況がその費用を大きく規定するためである。今後増大する公共サービス需要に対して、受動的にその供給を行うことは明らかに社会的な効率性が悪く、「公共サービス需要管理 (Public Service Demand Management)」の視点から、適切な立地誘導を含めた効率的な政策手段の実施が求めら

れる。

このような視点に立った政策手段の効果予測においては、従来用いられてきた立地主体をグループ化したメゾスケールのモデルでは原理的に対応できないため、個人を考慮した世帯単位でのマイクロシミュレーションモデルが不可欠である。マイクロシミュレーションを用いた都市モデルの開発は、欧米諸国を中心として複数の研究グループによって取り組みがなされている²⁾³⁾。居住立地にマイクロシミュレーションを導入した代表的な都市モデルとしては、Urbansim⁴⁾、ILUTE⁵⁾、ILUMASS⁶⁾、PUMA⁷⁾、SelfSim⁸⁾などが挙げられ、研究事例および実際の都市への適用事例の蓄積が進められている。

本研究グループでは、前述のような我が国の状況を踏まえ、中長期的に変化する世帯属性変化に基づいて、要求するサービスや満足度、評価の変化を予測することを

目的とした世帯マイクロシミュレーションモデルを、大都市圏の郊外部に戦後開発されたニュータウンを対象として構築している⁹⁾¹⁰⁾。また、世帯を対象としたマイクロシミュレーションモデルを実行するためには、全ての世帯に対して世帯構成、住宅タイプ、自動車保有状況等の多様な属性を定義したシミュレーション初期年次データを用意する必要があるが、住民基本台帳などから個人や個別世帯に関するデータを入手することは一般的に困難であり、またプライバシー保護の観点からも望ましくない。このような課題に対し、国勢調査などの入手可能な集計データと、個別世帯の属性情報を追加的に提供するサンプル調査を組み合わせ、世帯や個人のデータ推計を行う手法に関して、体系的な手法の構築を行ってきた¹¹⁾¹²⁾。

マイクロシミュレーションモデルによる将来予測は、モンテカルロシミュレーションを用いた確率的な試行の下で実行される。このため、試行毎に結果が異なる特性を有しており、一般的には複数回の試行の平均を用いることが多い。また、初期マイクロデータの推定についても、推定可能な属性の種類に限界があるIPF法等の確定的な推計手法については当てはまらないものの、多様な属性をエージェントベースで推計する場合、モンテカルロシミュレーションを用いて実施されるため、同様に試行毎に結果が異なる。しかしながら、このようなマイクロシミュレーションの特性を踏まえた推定結果の安定性については、海外での研究事例を含め検証がなされていない。また、複数時点の観測データを用いた推定結果の再現性についても、十分な検証がなされていない。このような検証の不足は、マイクロシミュレーションの実用性を保証する上で、結果の信頼性を低下させる要因となっていると考えられる。

以上を踏まえ本研究では、先行研究で構築した郊外ニュータウン地域を対象としたマイクロシミュレーションモデルを用い、初期マイクロデータ推定の安定性、および複数時点の観測データを用いた予測シミュレーション結果の再現性の検討を行う。対象地域は多摩田園都市であり、当該地域において実施されたアンケート調査を用いて、住居ストックとそれらの居住世帯のマイクロデータの初期分布予測および将来変化を予測するマイクロシミュレーションモデルが構築されている。まず、初期マイクロデータの推定を複数回実行し、世帯構成と世帯主年齢で区分したカテゴリごとに推定結果の検証する。また、2005年および2010年の2時点について都市計画基礎調査等の入手可能なデータより、住宅ストックの更新や居住世帯の変化に関する観測データを作成する。2005年を基準年とした2010年の予測シミュレーションを実行し、再現性の検証をマイクロデータの適合度指標を用いて検証する。

2. マイクロ世帯将来変遷予測モデル

(1) 予測モデルの概要

本研究で用いるマイクロ世帯将来変遷予測モデルの概要を図-1に示す。

モデルは、基準年世帯・住宅マイクロデータの推計と将来世帯変遷マイクロシミュレーションによって構成される。基準年世帯・住宅マイクロデータの推計では、基準年の世帯マイクロデータの作成、住宅ストックリストの作成、住宅ストックリストと世帯マイクロデータのマッチングを行い、住宅とそこに居住する世帯および世帯構成員の属性が関連付けられたマイクロデータを作成する。将来世帯変遷マイクロシミュレーションでは、基準年の将来の世帯・住宅マイクロデータに対し、マイクロシミュレーションによる時点毎の世帯および世帯構成員属性の変化、世帯の転入・転出、住宅ストックへの入居状況の推定を繰り返して、各時点の将来予測を行う。

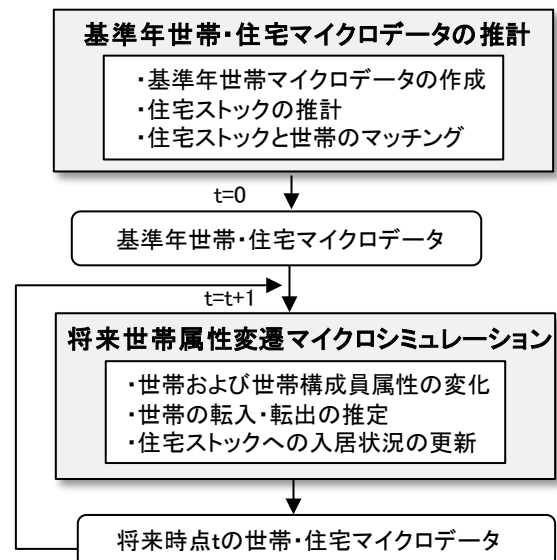


図-1 マイクロ世帯将来変遷予測モデルの概要

(2) 前提条件

本研究の予測モデルにおいては、以下のような人口・住宅データ推定問題を前提条件として設定している。

- ・対象エージェントは郊外ニュータウンに居住する世帯とその構成員とする。
- ・対象とする世帯属性のうち、世帯構成に関するものは世帯人数および世帯構成（世帯内の世帯主との続柄の組み合わせによって定義）であり、世帯内の各世帯構成員は年齢、性別、世帯主との続柄を世帯構成に関する属性として持つ。
- ・これらに加え、世帯については居住する住宅タイプ、住宅の築年数、居住年数、各世帯構成員については就業・就学状況、通勤通学地等を世帯構成以外の属性として持つ。

- ・対象地域はゾーンに分割されており、各ゾーンにおいては、周辺制約データとして性別5歳年齢階層別の人口データおよび世帯人数別の世帯数が国勢調査等の統計データより利用可能であるものとする。また、設定した各ゾーンの中心間の距離がわかるものとする。
- ・各ゾーンには世帯エージェント数以上の住宅ストックが存在し、各世帯はそのいずれかに居住しているものとする。世帯が居住していない住宅ストックは空き家として存在するものとする。
- ・世帯は転出または消滅しない限り同一住宅に居住し、地区内での転居は行わないものとする。
- ・各ゾーンの住宅ストック数は住宅地図等の既存住宅ストック関連データにより入手可能とする。
- ・対象地域においてはアンケート等によって限定的な数の世帯サンプルが入手可能であるものとする。これらの世帯サンプルは、居住開始年次および基準年の2時点について、推定対象となるすべての世帯属性、個人属性を情報として含むとともに、居住開始年以降に同居を開始もしくは出生した世帯構成員に関する情報を有するものとする。
- ・将来予測時点の間隔は5年毎とする。

(3) 基準年世帯・住宅マイクロデータの推計

基準年世帯・住宅マイクロデータ推計の概要を図-2に示す。推計は4段階で実施し、まずはじめに世帯構成員の年齢、性別、世帯主との続柄を推計し、各世帯の構成に関する情報を有する世帯マイクロデータを作成する。次に、それぞれの世帯と最も類似性が高いサンプルデータに基づいて、居住年数、就業・就学状態、通勤・通学地等、世帯構成以外の世帯および世帯構成員属性を付加する。続いて、入手可能な住宅ストック関連データとアンケート調査データより住宅ストックリストを作成し、世帯マイクロデータとのマッチングをサンプル世帯との類似度に基づいて行い、基準年の世帯マイクロデータおよび住宅ストックリストを作成する。

a) 世帯構成に関する属性推定

世帯構成に関する属性の推定は、総合的属性を対象として開発された初期マイクロ世帯データ推計システム¹¹⁾¹³⁾のうち、世帯人数別世帯数および年齢階層別人口を周辺制約とし、世帯構成員の属性推定を行う機能を利用するものである。

b) 世帯構成以外の属性推定

世帯構成以外の属性は、世帯構成に関する属性情報を持つ世帯マイクロデータに対して、付加すべきその他の属性情報を有するマイクロ世帯サンプルとの類似度距離を算出し、最も類似度が高い世帯サンプルを判定して、これらの属性を付加するという手法を用いる。これは、実都市レベルにおける初期マイクロ世帯データ作成手

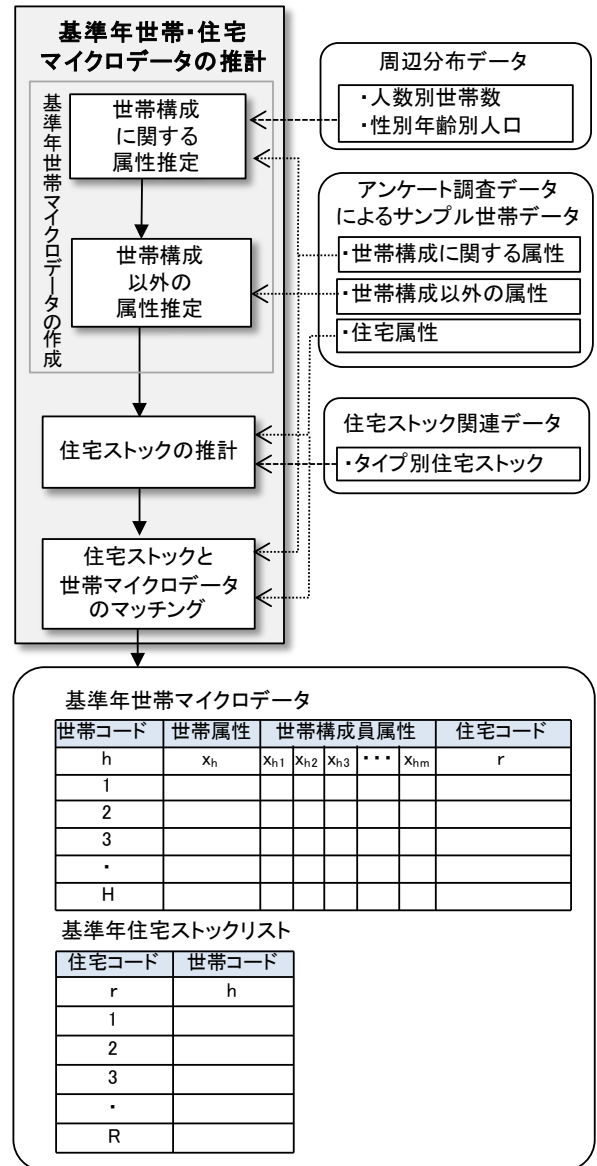


図-2 基準年世帯・住宅マイクロデータ推計の概要

法として、既存研究¹²⁾において開発されたものである。

ここで類似度距離は、世帯マイクロデータの適合度を、観測データ集合と推定データ集合における世帯マイクロデータ間の適合度を乖離距離量の最小和によって定義しており、推定対象世帯マイクロデータと参照するサンプル世帯データ間の空間的近接性についても考慮している点が特徴である。

具体的には以下のような考え方および手順で推計を実施する。

- ・属性の推計は、個人属性、世帯属性の順で行い、いずれも世帯人数が一致する世帯サンプルもしくはその世帯サンプルに含まれる個人の属性を参照するものとする。
- ・世帯構成員の性別と続柄による組み合わせ数を K とすると、推定対象世帯 b と参照する世帯サンプルデータ s は各構成員の年齢 a_k と対象世帯の存在するゾ

ーン z を用いて、式(1)および式(2)のようなベクトルで表される。

$$\mathbf{b} = (a_1^b, \dots, a_K^b, z^b) \quad (1)$$

$$\mathbf{s} = (a_1^s, \dots, a_K^s, z^s) \quad (2)$$

- まず、性別と続柄を加味した世帯構成員 m の年齢 c_k^m を以下のように定義する。

$$c_k^m = \begin{cases} a_k & : k = k^m \\ 999 & : k \neq k^m \end{cases} \quad (3)$$

- 推定対象世帯 b の m 番目の世帯構成員の個人属性は、参照する世帯サンプル s に含まれる m' 番目の世帯構成員と居住ゾーン間の空間的近接性によって定義される乖離距離が最小になる個人サンプルを探索して付加する。世帯構成員ベースの乖離距離は式(4)のように表され、 $p_dis(\mathbf{b}_m, \mathbf{s}_{m'})$ が最小となる場合が最も類似度が高いと判定する。

$$p_dis(\mathbf{b}_m, \mathbf{s}_{m'}) = \sqrt{\sum_{k=1}^K (c_k^{b_m} - c_k^{s_{m'}})^2 + \alpha \cdot (d^{bs})^2} \quad (4)$$

ここで、 d^{bs} は推定対象世帯 b と参照する世帯サンプルデータ s それぞれの居住ゾーン間の空間距離、 α は乖離距離に対する世帯構成員属性と空間距離の重みを定義するための係数である。

- 推定対象世帯 b の世帯属性は、参照する世帯サンプル s の世帯構成と居住ゾーン間の空間的近接性で定義される乖離距離が最小になる世帯サンプルを探索して付加する。世帯ベースの乖離距離は式(5)のように表され、 $h_dis(\mathbf{b}, \mathbf{s})$ が最小となる場合が最も類似

度が高いと判定する。

$$h_dis(\mathbf{b}, \mathbf{s}) = \sqrt{\sum_{k=1}^K (a_k^b - a_k^s)^2 + \alpha \cdot (z^{bs})^2} \quad (5)$$

- 乖離量が最小となるサンプルが複数生じる場合は、モンテカルロ法を用いて確率的に属性を付加する。

c) 住宅ストックの推計

住宅ストックの推計では、各ゾーンにおける住宅ストックのリストを作成する。住宅データは、属性として住宅タイプと築年数を有しているものとする。まず、住宅地図等の入手可能な住宅ストック関連データより、ゾーン別タイプ別の住宅戸数をデータ化する。次に、アンケート調査における居住住宅タイプより、ゾーンおよび住宅タイプ別に築年数の構成比を算出し、ゾーン別タイプ別の住宅戸数に乗じてゾーン別タイプ別築年数別の住宅戸数を作成する。作成されたデータを個別の住宅単位でリスト化し、住宅ストックデータとして利用する。

d) 住宅ストックと世帯のマッチング

住宅ストックと世帯のマッチングは、図-3に示す推定フローにより実施する。推定は推定対象世帯 b と参照する世帯サンプルデータ s の乖離距離が最小になる世帯サンプルを探索して付加することを基本とする。ここで乖離距離は、世帯属性と居住ゾーン間の空間距離に加えて、世帯の居住年数を考慮し、式(6)で定義する。

$$hr_dis(\mathbf{b}, \mathbf{s}) = \sqrt{\sum_{k=1}^K (a_k^b - a_k^s)^2 + \alpha \cdot (z^{bs})^2 + \beta \cdot (ry^b - ry^s)^2} \quad (6)$$

ここで、 ry は居住年数、 β は乖離距離に対する世帯構成員属性と居住年数の重みを定義するための係数である。

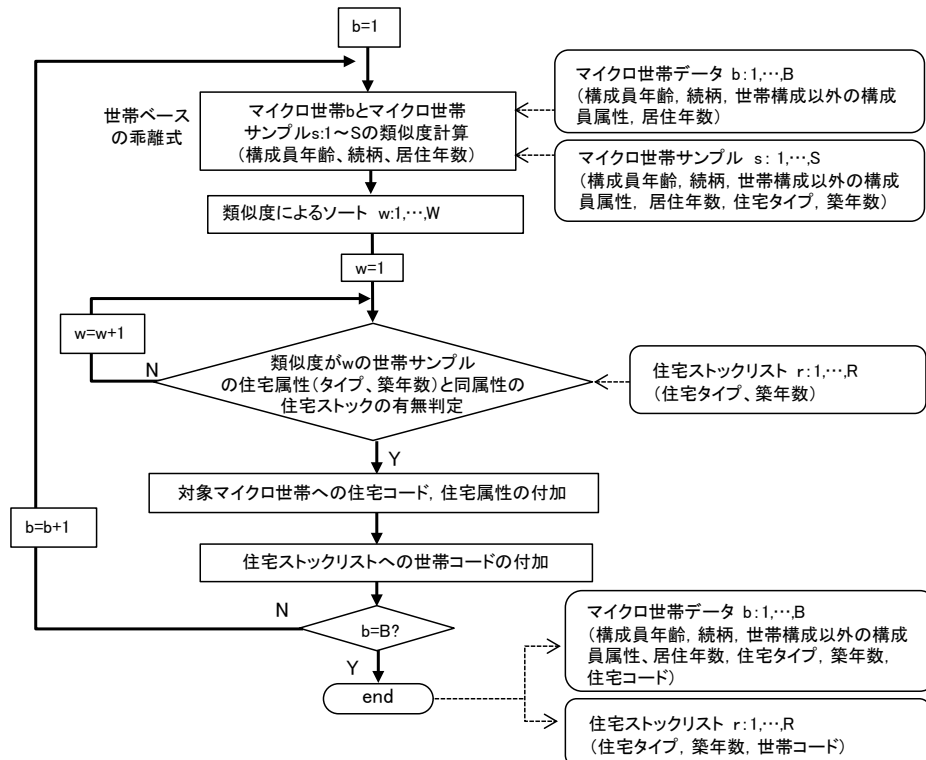


図-3 住宅ストックと世帯のマッチング推定フロー

最も類似度が高い世帯サンプルの住宅属性のみを用いた場合、マッチング過程の進行とともに対応する住宅ストックが存在しないケースが生じる可能性がある。このため、乖離距離によりマイクロ世帯サンプルのソートを行った上で、対応する住宅ストックが存在しない場合は、次に類似度が高い世帯サンプルの住宅属性を順次探索する構造を取り入れている。

判定結果を踏まえてマイクロ世帯データに居住する住宅の属性として住宅タイプと築年数を付加し、また住宅ストックリストに対しては、居住している世帯のコードを付加する。住宅ストックリストにおいて世帯コードが付加されなかった住宅については、空き住宅として取り扱われる。以上の推定過程により、基準年の世帯マイクロデータおよび住宅ストックリストが作成され、次節の将来世帯変遷マイクロシミュレーションのための基準年世帯・住宅マイクロデータとして用いられる。

(3) 将来世帯変遷マイクロシミュレーション

将来世帯変遷マイクロシミュレーションのフローを図-4に示す。まずはじめに時点 t に各ゾーンに存在する世帯について、次期に残留するか、転出または消滅するかの判定を行う。残留世帯については、最も類似性が高い

サンプルデータに基づいて次期の世帯構成および各世帯構成員の属性の変化を予測する。また、各時点間において転出または消滅世帯と同数の転入世帯が存在するものとし、これらの転入世帯に関する世帯マイクロデータの作成と居住する住宅ストックの更新を行う。以上の処理を将来の各時点において繰り返し行い、経年的な世帯の変遷のシミュレーションを行うものである。

a) 世帯の転出・消滅

時点 t に各ゾーンに存在する世帯について、時点 $t+1$ に世帯マイクロデータおよび住宅ストックリスト残留するか、対象地域外へ転出または世帯が消滅するかの判定を行う。判定は、アンケート調査結果より作成する世帯人数別居住年数別住宅タイプ別の残留比率を用いて、発生乱数によるモンテカルロシミュレーションにより行う。転出または消滅と判定された場合、対象マイクロ世帯データを削除し、対応する住宅ストックリストについても対応する世帯コードを消去し、空き住宅として更新する。

b) 残留世帯の属性更新

前項において、時点 $t+1$ にゾーンへ残留すると判定された世帯に対し、最も類似度が高い世帯サンプルの属性の変化を参照し、時点 $t+1$ の世帯属性への更新を行う。

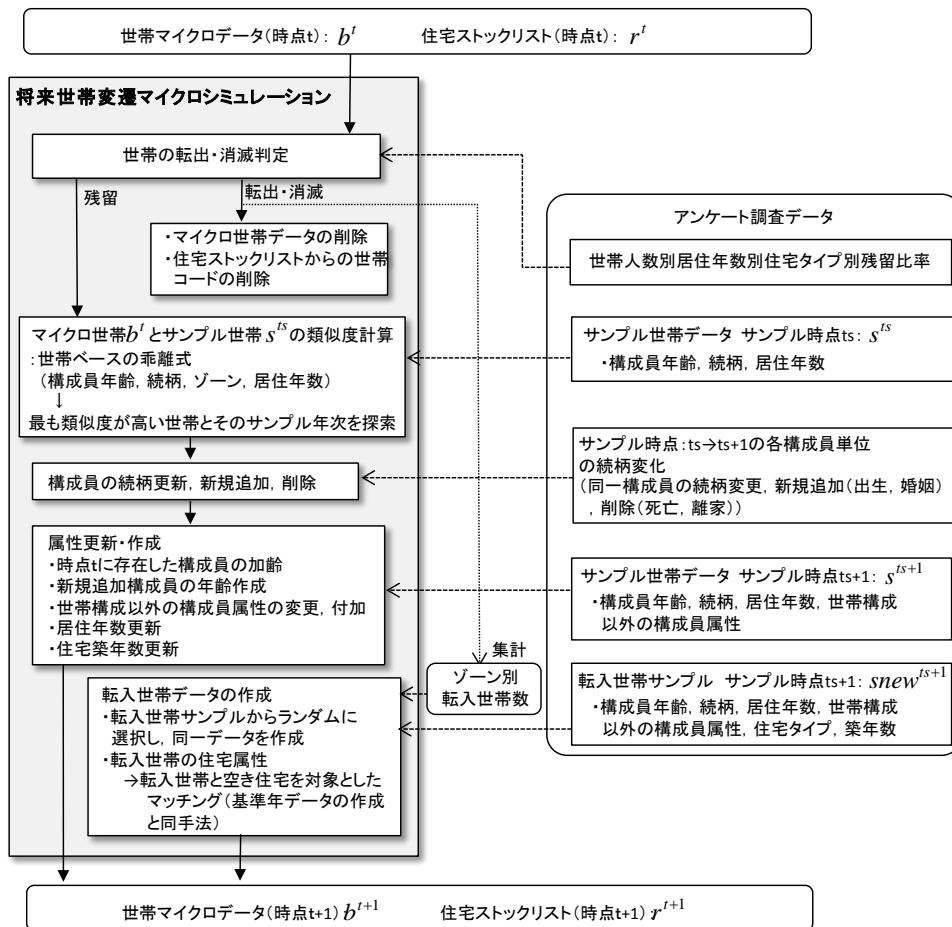


図-4 将来世帯変遷マイクロシミュレーションの概要

ここで、類似度は式(7)の乖離距離によって定義し、乖離距離が最小になる世帯を探索する。

$$hf_dis(\mathbf{b}^t, \mathbf{s}^{ts}) = \sqrt{\sum_{k=1}^K (a_k^{\mathbf{b}^t} - a_k^{\mathbf{s}^{ts}})^2 + \alpha \cdot (z^{\mathbf{b}^t})^2 + \beta \cdot (ry^{\mathbf{b}^t} - ry^{\mathbf{s}^{ts}})^2} \quad (7)$$

乖離距離の基本的な式構造は式(6)と同じであるが、探索対象の世帯サンプルにサンプル時点 t_s を考慮している点が異なる。このため、将来の属性更新に用いるサンプルデータについては、居住開始時点から調査時点までの期間を5年単位に分割し、分割された時点サンプル時点 t_s として、各時点における世帯構成、世帯構成員の属性をデータ化する必要がある。これらのデータは、アンケート調査時に、入居時と現在の2時点の世帯構成員属性、および入居時以降に同居した世帯構成員の同居年を把握することで作成可能である。また、サンプル時点 t_s と t_s+1 の2時点の世帯構成員属性より、構成員単位の属性変更をデータ化する。このデータ化には、同一世帯構成員の続柄変更、出生や婚姻による世帯構成員の追加、死亡や離家による世帯構成員の削除、各世帯構成員の就業・就学状態、通勤・通学先等世帯構成以外の属性の変更が含まれる。

続いて、類似度が最も高い世帯サンプルの探索結果に基づいて、残留世帯およびその世帯構成員の属性更新を行う。具体的な内容を以下に示す。

- ・時点 t_s+1 の世帯構成を参照し、時点 $t+1$ の世帯構成員の続柄の更新、構成員の新規追加・削除を行う。
- ・時点 t にも存在していた世帯構成員については年齢属性をプラス5歳に更新、新規に追加された構成員についてはサンプル世帯と同一として年齢属性を付加。
- ・サンプル世帯の時点 t_s+1 の各構成員 $s_m^{t_s+1}$ の属性を参照し、時点 $t+1$ の世帯構成員の就業・就学状態、通勤・通学先等の世帯構成以外の属性を更新。
- ・世帯属性のうち、居住年数をプラス5年に更新。
- ・住宅属性のうち、住宅タイプは不変として、築年数のみプラス5年に更新。

d) 転入世帯の作成

転入世帯数については、ニュータウンにおいては世帯数は定常状態にあるものとして、転出・消滅世帯と同数の転入が各ゾーンに生じるものと仮定する。世帯の転出・消滅に関するモンテカルロシミュレーションの実行時に、削除世帯数をゾーンごとにカウントし、各ゾーンへの転入世帯数とする。アンケート調査より、近年の転入世帯に関するサンプル世帯データを転入世帯サンプルリストとして作成し、各ゾーンへの転入世帯ごとにリストからランダムに選出されたサンプル世帯と同一のマイクロ世帯データを作成し、時点 $t+1$ のマイクロデータに加える。住宅属性については、先に示したマッチングを、転入世帯サンプルリストを参照した上で同一の手法により行い、転入世帯と空き住宅のマッチングを行って、

転入世帯への住宅属性の付加と住宅ストックリストの更新を行う。

3. 多摩田園都市におけるモデル構築

(1) 適用対象地区の概要

本研究では、東急田園都市線沿線の多摩田園都市を対象として、初期マイクロデータ推定の安定性、および複数時点の観測データを用いた予測シミュレーション結果の再現性の検討を行う。対象地区の概要を図-5に示す。東急田園都市線は、東京都渋谷区の渋谷駅から神奈川県大和市の中央林間までを結ぶ31.6kmの路線である。対象地区は都心部から約20km離れた青葉台駅、藤が丘駅周辺であり、多摩田園都市開発により開発されたニュータウンで閑静な住宅地が広がっている。対象地区は国勢調査小地域統計区により26ゾーンに区分される。



図-5 対象地域

(2) 利用データ

モデル分析に必要なマイクロ世帯サンプルデータは、対象地区において実施したアンケート調査データより入手した。

アンケートの調査概要は以下のとおりである。

- ・実施期間：2014年12月～2015年1月
- ・対象世帯：全51,601世帯から層別（戸建、マンション）28%無作為抽出
- ・送付票数：14,500世帯
- ・回収票数：1,691票 回収率11.6%
- ・配布回収方法：返信封筒を同封した調査票封筒をポストイング、郵送回収

また、アンケートにおける主要な設問は以下のとおりである。

- ・現在の世帯構成員の属性：性別、年齢、世帯主との続柄、職業等
- ・現住居の属性：住宅形態、間取り、築年数、入居してから年数等
- ・世帯構成員の変化履歴：入居時の世帯構成員属性、世帯構成員に変化があった場合の年次等
- ・日常生活：交通、買い物等
- ・現在のくらしの満足度：地域の将来性、交通の利便性、買い物の利便性保育、福祉、医療、周辺環境等

以上の設問において、世帯構成員の変化履歴を調査している点が、本アンケートの重要な点である。将来世帯マイクロシミュレーションにおいては、世帯の変化履歴に関するサンプルが必要であり、これらの調査結果を利用して、シミュレーションを実行している。

基準年データ推定用のサンプルデータは、アンケート調査結果より、無効な解答を除き、1,619世帯、4,206人分の世帯マイクロデータを作成した。また、サンプル期間を考慮し、居住開始年から調査時点までの期間を5年ごとに分割して、その間の世帯構成の変化をデータ化した。世帯構成員変化に関するサンプルデータとしては、延べ3,484世帯、10,815人分のデータを作成した。

周辺分布データについては、2005年（平成17年）および2010年（平成22年）の国勢調査データより、各ゾーンの人員別世帯数および性別年齢階層別人口集計値を集計して作成した。ここで、国勢調査においては、7人以上の世帯人員についてはカテゴリが統合されていること、一般世帯に対する施設等の世帯については世帯人員が不明であること等の理由により、世帯人員別世帯数によるゾーン別総人口と、性別年齢階層別人口の集計値として算出されるゾーン別総人口が一致しない。このため、適用においてはこれらが一致するように、世帯人員別世帯数を基準として年齢階層別人口を調整して周辺分布データを作成した。

住宅ストックデータは、2003年および2008年の都市計画基礎調査データを2005年および2010年のゼンリン住宅地図を利用して補正して作成した。具体的には、都市計画基礎調査データに対し、①2003年～2004年にかけて消滅した住宅の削除、②2009年～2010年に新築された住宅の追加、③2009年～2010年に消滅した住宅のデータの削除をゼンリン住宅地図から判断して行った。個々の住宅の除却や建設による更新またについては都市計画基礎調査の築年数データより判断して作成した。また、再現性検証に用いるデータとして、ゼンリン住宅地図より各住居への入居者情報から、個別住宅ごとの世帯の住み替え（転出や新規入居）の状況、空き家の発生状況についても合わせてデータ化した。ただし、2003年の都市計画基礎調査においては築年数のデータが入手できなかったため、2005年～2007年に消滅した住宅の築年数が負であったため、2009年～2010年に消滅した住宅の築年数をもとに補完を行った。

4. 初期マイクロデータ推定の安定性の検証

初期マイクロデータ推定の安定性は、各ゾーンにおける推定を50回ずつ行い、世帯構成と世帯主年齢で区分したカテゴリごとに推定結果のばらつきにより検証する。

世帯構成は世帯構成の組み合わせであり、サンプルデータにおいて自由度10以上の世帯タイプを主要な世帯タイプとして、表-1のように世帯タイプを設

定した。また、世帯主年齢は10歳ごとに区分し、15～24歳、25～34歳、35～44歳、45～54歳、55～64歳、65～74歳、75～84歳、85歳以上のように設定した。

表-1 世帯タイプの設定

世帯人数	世帯構成員の組み合わせ
単身世帯	单身男
	单身女
2人世帯	夫婦
	世帯主女+子供女
	世帯主男+母親
	その他2人世帯
3人世帯	夫婦+子供男
	夫婦+子供女
	その他3人世帯
4人世帯	夫婦+子供男2人
	夫婦+子供男+子供女
	夫婦+子供女2人
	その他4人世帯
5人世帯	夫婦+子供男2人+子供女
	夫婦+子供男+子供女2人
	その他5人世帯
6人世帯	6人世帯
7人世帯	7人世帯

5. シミュレーション結果の再現性検証

(1) 対象地区における住宅ストックと世帯の変化

シミュレーション結果の再現性検証のために、都市計画基礎調査データおよびゼンリン住宅地図を用いて作成した2時点の住宅ストックデータを用いて、住宅ストックや世帯の入居状況の変化を確認する。ここでは、例としてゾーン19「みたけ台」地区について結果を示す。

2005年から2010年間の住宅ストックの更新状況を表-2に示す。建て替えが発生した住宅は38戸で、この地区の総住宅戸数1,983戸の約2%を占める。戸建住宅の建て替えが主であったが、集合住宅への建て替えも一部見られた。新築は主に駐車場に集合住宅を建設する事例が多く、住宅戸数は微増傾向にある。築年数が30年を超えている住宅は全体の5割以上を占めており、今後更に建て替えが進行することが予測される。

2005年から2010年間の住宅タイプ別建設年次別の世帯の住み替え状況を表-3に示す。戸建住宅における世帯の住み替えは81世帯で住宅ストック全体の約4%、集合住宅では349世帯で住宅ストック全体の約19%を占めており、住宅ストック全体の約4分の1で世帯の住み替えが起こっている。1990年代と1980年代に建設された集合住宅において、特に住み替えが多い。アパート等の賃貸集合住宅だけでなく、分譲マンションにおいても住み替えが発生している。一方、一戸建ての住み替えは少ない。これは開発が1960年代から始まり、世代の交代が発生していないことが要因の一つであると考えられる。

2010年における住宅タイプ別建設年次別の空家戸

数を表-4に示す。2010年時点の空家は38戸であり、全住宅ストック数の約2%であった。築30年以上の集合住宅に空家が多く、一方で戸建住宅では空家が少ない。築40年以上の集合住宅においても空家が少ないが、開発当初において集合住宅がほとんど建設されず該当する住宅ストックの絶対数が少ないことと、建て替えが進んでいることが理由として考えられる。

表-2 住宅ストック更新件数 (2005年→2010年)

種類	戸数
建て替え	38 戸
新築	12 戸
除却	4 戸

表-3 住み替え世帯数 (2005年→2010年)

竣工年代	戸建住宅	集合住宅	計
2000 年代	19	2	21
1990 年代	26	145	171
1980 年代	24	154	178
1970 年代	12	36	48
1960 年代	0	12	12
計	81	349	430

表-4 空家戸数 (2010年)

	一戸建て	集合住宅	計
1990 年代	1	7	8
1980 年代	3	12	15
1970 年代	0	11	11
1960 年代	0	4	4
計	4	34	38

(2) 再現性の検証手法

初期マイクロデータ推定の安定性は、2005年を基準年としてシミュレーションされた2010年の予測結果と、2010年の観測データに対して、大谷ら¹⁴⁾によって考案されたマイクロデータ間の適合度指標を用いて検証する。

適合度評価時に考慮する属性は、世帯構成と住宅タイプである。世帯構成は各世帯構成員の年齢と、以下の20カテゴリで表現される性別および世帯主との関係である。

- ・性別および世帯主との関係 (20カテゴリ)
- ①世帯主男, ②息子1, ③息子2, ④息子3,
- ⑤孫男, ⑥兄弟, ⑦父, ⑧その他男1
- ⑨その他男2
- ⑩世帯主女, ⑪妻, ⑫娘1, ⑬娘2, ⑭娘3
- ⑮孫女, ⑯姉妹, ⑰母, ⑱息子の妻
- ⑲その他女1, ⑳その他女2

また、住宅タイプは戸建と集合の2種類を設定している。

観測データ B と j 番目の推計データ E_j は、式(8)および式(9)のようなベクトルで表わされる。

$$B = \{ \{ \bar{a}_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{i20}), h_i \} \mid 1 \leq i \leq N \} \quad (8)$$

$$E_j = \{ \{ \bar{a}_i^j = (a_{i1}^j, a_{i2}^j, \dots, a_{i20}^j), h_i^j \} \mid 1 \leq i \leq N \} \quad (9)$$

推定データ集合 E_j の適合度 $Fit(E_j)$ は、年齢・性別・世帯主との関係と住宅タイプに関する 2 種の距離の重みつき和の最小値として、式(10)のように定義をされる。

$$Fit(E_j) = \min_{\sigma \in S_N} \left\{ \frac{\bar{w}_a}{N} \cdot \sum_{i=1}^N edis(\bar{a}_i, \bar{a}_{\sigma(i)}^j) + \frac{\bar{w}_h}{N} \cdot \sum_{i=1}^N mdis(h_i, h_{\sigma(i)}^j) \right\} \quad (10)$$

$$\text{where } \bar{w}_a = \frac{w_a}{w_a + w_h}, \bar{w}_h = \frac{w_h}{w_a + w_h}$$

ここで、 S_n は集合 $\{1, 2, \dots, N\}$ から集合 $\{1, 2, \dots, N\}$ へのすべての全単射の集合を表し、 $\sigma(i)$ は全単射 σ による i の像を表す。 w_a, w_h はそれぞれ年齢・性別・世帯主との関係、住宅タイプに対する重みである。

年齢・性別・世帯主との関係に関するデータ $\bar{a}_i, \bar{a}_{\sigma(i)}^j$ の距離 $edis(\bar{a}_i, \bar{a}_{\sigma(i)}^j)$ は、正規化されたユークリッド距離として、式(11)により算出する。計算時のオーバーフローと不在世帯構成員の過度の影響を回避するため、成分の差の二乗に上限値 D_{max} を設ける。

$$edis(\bar{a}_i, \bar{a}_{\sigma(i)}^j) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{20} \min((a_{ik} - a_{\sigma(i)k}^j)^2, D_{max})}{20 \cdot D_{max}}} \quad (11)$$

住宅タイプに関するデータ $h_i, h_{\sigma(i)}^j$ の距離 $mdis(h_i, h_{\sigma(i)}^j)$ は、式(12)により算出する。

$$mdis(h_i, h_{\sigma(i)}^j) = |h_i - h_{\sigma(i)}^j| \quad (12)$$

式(10)による適合度計算は、 $N!$ 種類の全単射から、距離の二乗和を最小とするような全単射を探索する問題となり、 N の増加に従って計算量が急速に増加するため、遺伝的アルゴリズム (GA) の一手法である共生進化を採用した近似値の探索を行い、実時間で評価値算出を可能としている。

6. おわりに

本研究では、先行研究において構築した郊外ニュータウン地域における住居ストックとそこに居住する世帯のマイクロデータの変化を予測するマイクロシミュレーションモデルを用い、初期マイクロデータ推定の安定性と、マイクロデータの適合度評価手法により観測データに対する予測シミュレーション結果の再現性の検証について、利用データを含む検討手法を示した。具体的な検証結果については講演時に報告予定である。

謝辞：本研究で利用しているアンケートは東急総合研究所との共同研究として同研究所の奥村令子氏の大変なご協力のもとに実施した。記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 福岡裕介, 大谷紀子, 杉木直, 宮本和明：世帯マイクロデータに基づく都市政策手段の選択方法, 第 49 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2014.
- 2) Wegener, M. : Overview of land-use transport models, Proc. of CUPUM'03, 2003.
- 3) 宮本和明, 北詰恵一, 鈴木温：世界における実用都市モデルの実態調査とその理論・機能と適用対象の体系化, 平成 18~19 年度科学研究費補助金(基盤研究(C), 課題番号:18560524)研究成果報告書, 2008.
- 4) Waddell, P. : UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning, *Journal of the American Planning Association*, Vol.68, No.3, pp.297-314, 2002.
- 5) Salvini, P. and Miller, E.J. : ILUTE: An operational prototype of a comprehensive microsimulation model of urban systems, *Networks and Spatial Economics*, Vol.5, No.2, pp.217-234, 2005.
- 6) Strauch, D., Moeckel, R., Wegener, M., Gräfe, J., Mühlhans, H., Rindsfuser, G., and Beckmann, K.J. : Linking transport and land use planning: the microscopic dynamic simulation model ILUMASS, *Geodynamics*, pp.295-311, 2005.
- 7) Ettema, D., de Jong, K., Timmermans, H., and Bakema, A. : PUMA: multi-agent modelling of urban systems, *Modelling land-use change*, Springer, pp.237-258, 2007.
- 8) Chengxiang, Z., Chunfu, S., Jian, G., Chunjiao, D., and Hui, Z. : Agent-based joint model of residential location choice and real estate price for land use and transport model, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol.57, pp.93-105, 2016.
- 9) 杉木直, 柏村晟也, 大谷紀子, 宮本和明：郊外ニュータウンにおける住宅ストックを考慮した世帯マイクロシミュレーション, 第 52 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2015.
- 10) 杉木直, 柏村晟也, 大谷紀子, 宮本和明：郊外ニュータウンにおける世帯マイクロシミュレーションの適用, 第 53 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2015.
- 11) Sugiki, N., Vichiensan, V., Otani, N., and Miyamoto K. : Agent-Based Household Micro-Datasets: An Estimation Method Composed of Generalized Attributes with Probabilistic Distributions from Sample Data and Available Control Totals by Attribute, *Asian Transport Studies*, Vol.2, No.1, pp.3-18, 2012.
- 12) Sugiki, N., Muranaka, T., Otani, N., and Miyamoto K. : Agent-based Estimation of Household Micro-data with Detailed Attributes for a Real City, *Proceedings of the 14th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, pp.231-1 - 231-18, 2015.
- 13) Miyamoto, K., and Sugiki, N.: An Estimation Method of Household Micro-Data for the Base Year in Land-Use Micro Simulation, *Proceedings of the 12th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, Hong Kong, CD-ROM, 2009.
- 14) Otani, N., Sugiki, N. and Miyamoto, K. : Goodness-of-Fit evaluation method of agent-based household micro-data sets composed of generalized attributes, *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2254, pp.97-103, 2011. (2016.7.31 受付)