

# 世帯マイクロシミュレーションの初期分布推定の安定性と再現性検証を踏まえた改良

杉木 直<sup>1</sup>・柏村 晟也<sup>2</sup>・大谷 紀子<sup>3</sup>・宮本 和明<sup>4</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>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

<sup>4</sup>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は、欧米諸国を中心として複数の研究グループによって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を、推定結果のばらつきにより検証する。また、予測シミュレーション結果の再現性を、2005年を基準年とした2010年の予測結果と観測データに対してマイクロデータ適合度指標を適用して検証する。さらに、検証結果を踏まえて将来予測シミュレーションモデルの改良を行い、改良効果を検証する。

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

## 1. はじめに

わが国の都市においては今後急速に進展する人口減少と少子高齢化を背景として、既成市街地における空き家の増加、非効率な都市構造の下での都市の活力低下、公共交通サービスが行き届かない郊外住宅地における高齢者などの交通弱者の増加等が課題となっている。これらの都市課題への対応の緊急性から、国土交通省は『コンパクトシティ・プラス・ネットワーク』の考えに基づいた立地適正化計画制度を創設し、H29年4月時点で309市町が取組、103市が公表を行っている<sup>1)</sup>。しかし、現在公表されている立地適正化計画では、将来人口分布は外生的に設定されており、立地誘導に関する具体的な施策やその効果の定量的な検討には至っていない。

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、その住居や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。このため、従来型の画一的な政策

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、詳細な世帯属性を考慮し、従来よりもきめ細かな視点による「公共サービス需要管理 (Public Service Demand Management)」の下で、適切な立地誘導を含む政策手段の選択を実施する必要がある<sup>2)</sup>。

一方、土地利用と交通の相互作用を考慮した計画策定支援ツールとして、様々な都市モデル(土地利用-交通モデル)が開発されてきた。しかし、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前述のような政策手段の効果予測に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型都市モデルは、欧米諸国を中心として複数の研究グループによって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<sup>3) 4)</sup>。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、

Urbansim<sup>5)</sup>, ILUTE<sup>6)</sup>, ILUMASS<sup>7)</sup>, PUMA<sup>8)</sup>, SelfSim<sup>9)</sup>などが挙げられる。

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、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や、推定結果の再現性については、海外での研究事例を含め検証がなされていない。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。

本研究グループでは、以上のような我が国の状況と都市モデルの開発動向を踏まえ、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きた<sup>10) 11)</sup>。また、初期マイクロデータ推定の安定性について限定的な試行回数の下で検証を行った<sup>12)</sup>。

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について、まず多数の試行回数の下での初期マイクロデータ推定の安定性を検証する。続いて、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、マイクロデータ間の適合度指標を用いて検証する。また、先行研究のモデルによる将来予測結果では、住宅タイプ間での空き家発生状況やゾーン別の世帯タイプ構成に極端な偏りが生じていたため、再現性検証結果を踏まえて将来予測モデルを改良する。具体的には、住宅ストックの更新を組み込むとともに、世帯および住宅タイプ別の残留比率、属性更新や転入世帯作成の際に参照するサンプル世帯データの調整を行い、それらを踏まえた将来予測を実施する。

## 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

本研究では、先行研究<sup>10) 11)</sup>で開発されたマイクロ世帯将来変遷予測モデルを用いる。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

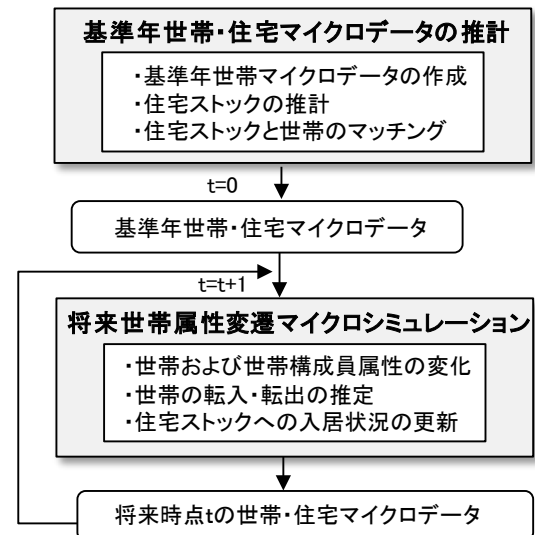


図-1 マイクロ世帯将来変遷予測モデルの概要

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行って、各時点の将来予測を行う。

### (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。ここでは、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<sup>13) 14)</sup>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している。次に、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、住宅ストックとの世帯マイクロデータとのマッチングを推定対象世帯とサンプル世帯との乖離距離で定義される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。

**(4) 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では、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行う。残留世帯については、最も類似度が高い世帯サンプルの属性の変化を参照し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。続いて、転入世帯に関する世帯マイクロデータの作成を、近年の転入世帯サンプル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する。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。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。

**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**

適用対象地区の概要を、図-2に示す。東急田園都

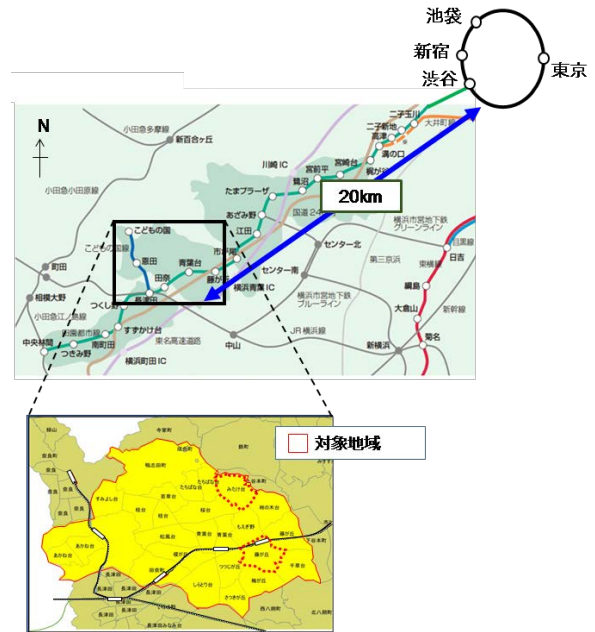


図-2 対象地域

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。

**(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作成されている。

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、入居してからの年数等
- ・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、無効な回答を除き、1,619世帯、4,206人分の世帯マイクロデータが作成された。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人分のデータが作成されている。

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ている。

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不明であったため、2009年～2010年に消滅した住宅の築年数をもとに補完を行っている。

#### 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、2005年を対象として各ゾーンにおける推定を50回ずつ行い、世帯タイプごとに推定結果のばらつきにより検証する。世帯タイプは世帯構成員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18世帯タイプとして設定した。

図-3に初期マイクロデータ推計によるゾーン別世帯数と世帯タイプ構成割合の50回の推計試行による平均値を示す。各ゾーンの世帯数は約600～3,100世帯と多様であるが、各ゾーンの人数別世帯数や年齢

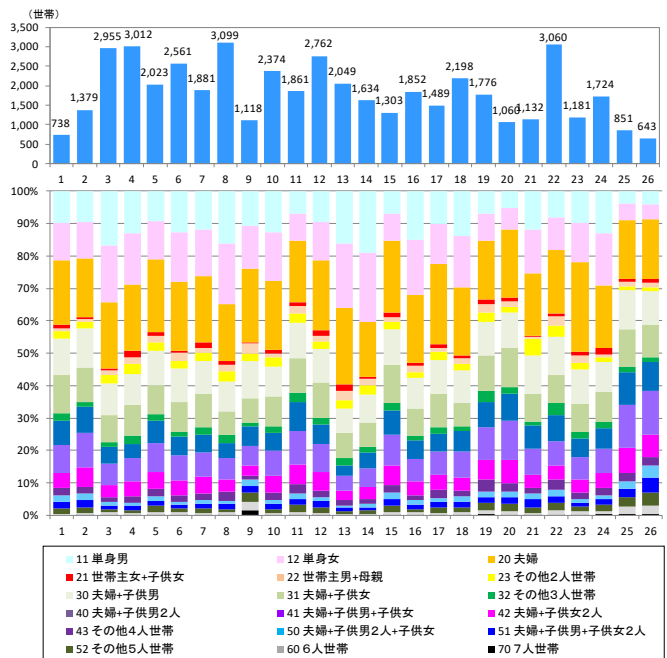


図-3 初期マイクロデータ推計結果  
：平均世帯数・世帯タイプ構成

表-1 初期マイクロデータ推計結果：変動係数

		ゾーン																									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
単身世帯	単身男	6.2	8.2	16.1	12.7	9.5	14.4	11.6	18.2	8.3	12.2	9.8	11.7	11.9	12.2	6.9	11.6	8.6	15.3	7.7	6.1	8.4	11.5	8.1	10.6	3.6	3.2
	単身女	6.2	8.2	16.1	12.7	9.5	14.4	11.6	18.2	8.3	12.2	9.8	11.7	11.9	12.2	6.9	11.6	8.6	15.3	7.7	6.1	8.4	11.5	8.1	10.6	3.6	3.2
2人世帯	夫婦	4.5	7.6	10.6	12.9	10.9	11.2	10.2	11.8	7.1	9.3	9.0	11.6	12.0	8.1	7.2	7.9	8.2	9.8	8.2	5.9	7.1	14.1	7.1	8.2	4.1	4.3
	世帯主女+子供女	2.5	2.7	4.8	8.2	4.2	4.6	5.4	6.3	1.3	5.2	4.3	6.3	6.0	2.7	4.4	4.6	4.4	3.8	4.5	3.0	1.4	5.0	4.1	6.7	2.1	2.1
	世帯主男+母親	2.5	4.6	8.3	7.6	8.0	10.1	7.5	10.1	5.7	6.7	6.0	7.5	8.1	8.0	4.7	5.9	5.3	7.6	6.4	3.2	2.8	9.4	5.1	4.4	3.1	3.1
	その他2人世帯	4.0	5.2	9.4	8.9	8.5	9.1	9.1	10.6	5.5	8.5	6.1	8.2	10.1	7.1	5.4	6.1	5.7	8.4	6.9	4.5	7.1	8.8	5.3	6.4	2.7	2.3
3人世帯	夫婦+子供男	5.3	8.1	10.4	8.4	8.3	10.3	8.8	10.7	7.6	9.8	9.6	10.3	7.9	8.5	9.7	8.5	7.0	7.5	9.2	6.4	8.0	12.3	6.1	9.4	5.2	4.3
	夫婦+子供女	5.0	8.4	9.3	10.6	9.1	8.9	9.0	9.7	7.8	9.7	9.3	11.9	7.8	7.0	9.2	9.4	8.6	7.9	10.5	6.9	7.7	12.5	6.4	9.5	5.7	5.2
	その他3人世帯	3.6	4.0	6.0	7.9	5.9	7.2	6.4	8.5	3.6	6.5	7.1	6.6	7.1	5.4	4.2	4.7	5.0	5.0	8.4	3.4	3.5	9.2	4.3	5.2	3.7	2.7
4人世帯	夫婦+子供男2人	4.2	8.1	10.3	8.5	6.8	8.7	8.4	8.2	5.7	7.2	9.0	6.0	6.6	5.3	7.3	5.6	6.4	8.3	8.7	6.0	5.8	11.9	5.6	6.9	5.8	5.7
	夫婦+子供男+子供女	5.2	8.8	13.3	11.3	8.6	9.9	9.8	10.8	6.3	11.0	10.2	11.1	8.4	7.9	9.1	8.7	8.5	8.9	9.8	9.3	6.7	15.2	6.8	11.1	8.4	6.2
	夫婦+子供女2人	4.1	5.1	7.9	7.7	6.8	7.7	6.8	7.6	4.4	7.7	6.7	9.2	5.9	5.3	6.7	6.0	5.9	6.6	7.8	7.0	4.1	7.9	5.2	6.7	5.3	4.4
5人世帯	その他4人世帯	4.0	5.4	7.5	7.3	7.2	7.6	5.9	8.7	3.3	7.7	5.9	5.8	4.9	4.6	6.0	4.7	4.5	5.7	9.0	5.0	3.4	10.7	4.1	6.2	3.8	3.6
	夫婦+子供男2人+子供女	3.3	3.5	4.0	4.2	4.8	4.0	3.2	4.9	3.7	4.7	4.6	4.9	3.7	3.2	4.2	3.5	3.1	4.8	4.6	3.2	4.1	5.4	2.5	3.7	3.4	3.5
	夫婦+子供男+子供女2人	2.7	4.1	4.7	4.5	5.3	4.4	4.0	5.3	3.7	5.0	4.5	5.6	3.7	3.7	3.5	4.5	4.2	4.4	4.5	3.4	3.9	5.9	3.4	4.3	3.7	3.9
6人世帯	その他6人世帯	2.8	4.2	3.8	5.0	5.4	3.9	3.5	4.7	3.8	4.6	5.8	5.8	3.4	3.4	3.8	3.4	3.5	5.1	6.0	3.1	3.3	6.2	3.0	4.6	3.5	3.1
	7人世帯	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

階層別人口の特性に従った初期マイクロ世帯の推計がなされており、また、特定の世帯タイプへの不自然な偏りも見られないため、妥当な推計がなされていると考えられる。

表-1に50回の推計試行によるゾーン別タイプ別世帯数の変動係数を示す。一部のゾーンで単身世帯の変動係数が大きいですが、全体的には1割程度の比較的安定した推定結果となっている。単身世帯の変動係数が大きくなる要因としては、推定時に用いるマイクロ世帯サンプルの年齢階層別人口構成に対し、当該ゾーンの年齢各層別人口構成に偏りがみられる場合、最終的な調整が単身世帯を中心に起こるようなケースが生じることが考えられる。

図-4に、藤が丘1丁目とみたけ台の2ゾーンについて、50回の推計試行による住宅タイプ別世帯タイプ別世帯数の平均値と変動係数を示す。世帯数が少ない世帯タイプの変動が大きいものの、構成において主要な世帯タイプの推定は安定しており、住宅タイプの推計を含めた場合でも安定した結果が得られることが確認された。

### 5. シミュレーション結果の再現性検証

シミュレーション結果の再現性検証は、2005年を初期年次としてシミュレーションされた2010年の予測結果と、2010年の周辺分布および住宅ストックから初期分布推定によって作成された観測データを用いて行う。

図-5に、藤が丘1丁目とみたけ台の2ゾーンについて、世帯タイプ別世帯数の再現状況を示す。藤が丘1丁目では、戸建、集合ともに、単身世帯の世帯数が過小評価されており、戸建では4人世帯が過大評価が過小評価となった。みたけ台では、集合で単身女が過大評価、5人以上世帯が過小評価となった。また、両ゾーンともに世帯主男+母親は戸建で過小評価、集合で過大評価となっており、さらに空家の再現状況が悪くなっている。これらの原因としては、世帯構成の変化や新規転入世帯の変化をシミュレーションする際に参照するサンプルの偏り、住宅ストックの更新が考慮されていないことが挙げられ、将来シミュレーションについてはモデルの改良の必要性がある。

また、住宅タイプを含めたシミュレーションの再現性を検証するために、大谷ら<sup>15)</sup>によって考案されたマイクロデータ間の適合度指標を応用した検証を行う。適合度評価時は同数のデータで行う必要があるため、空家を含むタイプ別の住宅ストック単位のマイクロデータを対象とする。上記の結果を踏まえて将来世帯変遷マイクロシミュレーションに住宅ストック更新を考慮する。住宅ストックの更新は、2005年および2010年の2時点の住宅ストックデータより、除却された住宅、新規建設された住宅をリスト化し、各ゾーンの更新データとして外生的に設定する。

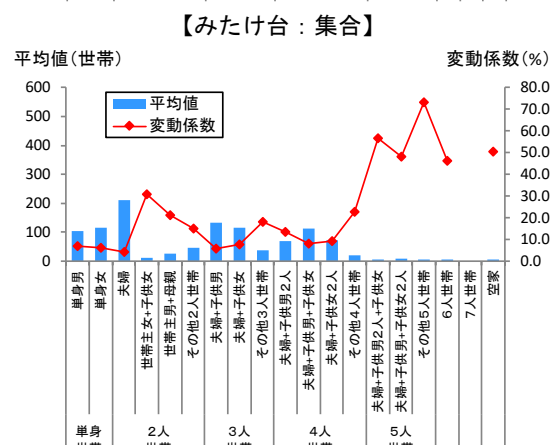
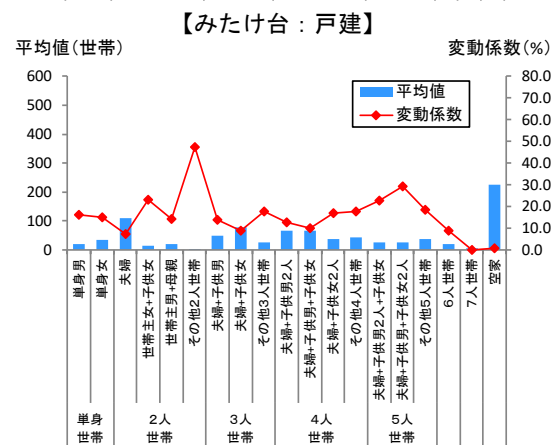
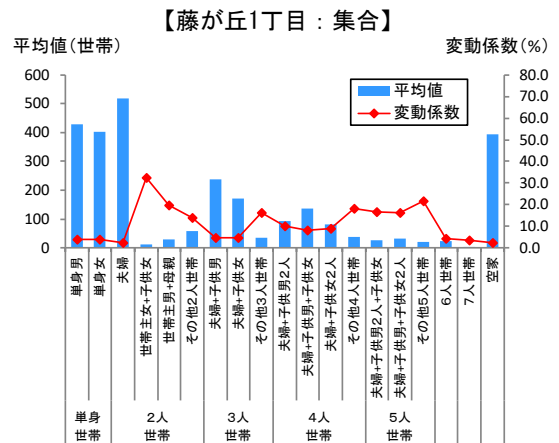
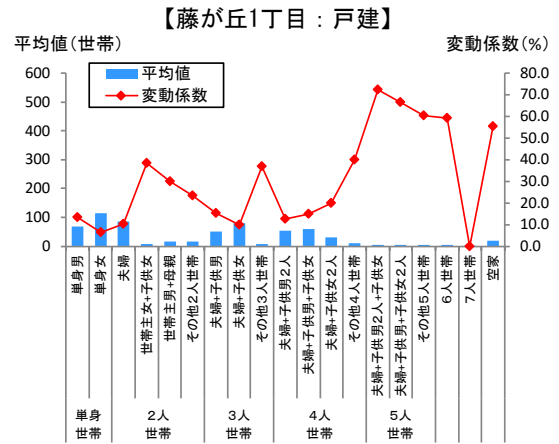


図-4 初期マイクロデータ推計結果  
：世帯数平均値・変動係数

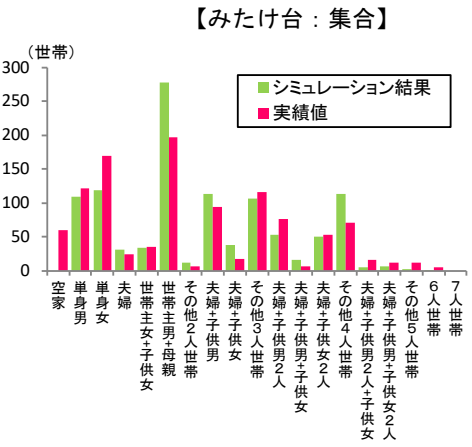
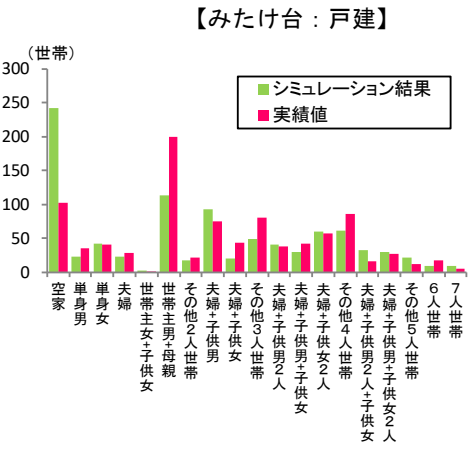
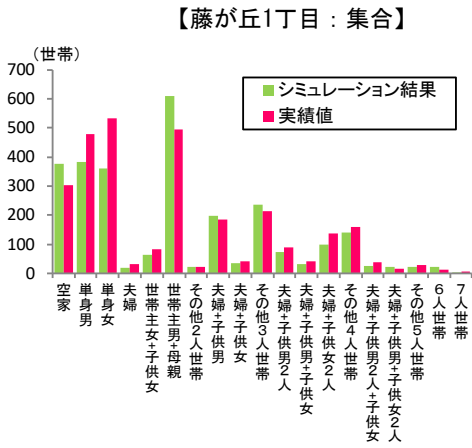
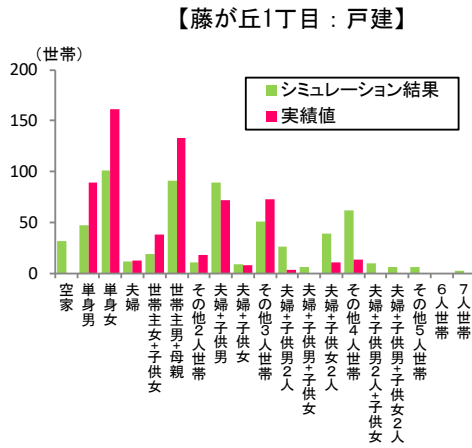


図-4 初期マイクロデータ推計結果  
：世帯数平均値・変動係数

適合度評価時に考慮する属性は、世帯構成と居住年数、住宅の築年数である。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

観測データ  $B$  と  $j$  番目の推計データ  $E_j$  は、式(1)および式(2)のようなベクトルで表わされる。

$$B = \{ \{ \bar{a}_i^R = (a_{i1}^R, a_{i2}^R, \dots, a_{i20}^R), hy_i^R, ry_i^R \} | 1 \leq i \leq N \} \quad (1)$$

$$E_j = \{ \{ \bar{a}_i^{Rj} = (a_{i1}^{Rj}, a_{i2}^{Rj}, \dots, a_{i20}^{Rj}), hy_i^{Rj}, ry_i^{Rj} \} | 1 \leq i \leq N \} \quad (2)$$

ここで、 $R$  は住宅タイプ、 $\bar{a}_i^R$  は年齢・性別・世帯主との関係を表す世帯構成ベクトル、 $hy_i^R$  は居住年数、 $ry_i^R$  は住宅築年数である。

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、居住年数、住宅築年数に関する3種の距離の重みつき和の最小値として住宅タイプごとに算出される適合度の合計値として、式(3)のように定義をされる。

$$Fit(E_j) = \min_{\sigma \in S_N} \left[ \sum_R \left\{ \frac{\bar{w}_a^R}{N_R} \cdot \sum_{i=1}^{N_R} edis(\bar{a}_i^R, \bar{a}_{\sigma(i)}^{Rj}) + \frac{\bar{w}_{hy}^R}{N_R} \cdot \sum_{i=1}^{N_R} tdis(hy_i^R, hy_{\sigma(i)}^{Rj}) + \frac{\bar{w}_{ry}^R}{N_R} \cdot \sum_{i=1}^{N_R} mdis(ry_i^R, ry_{\sigma(i)}^{Rj}) \right\} \right] \quad (3)$$

$$\text{where } \bar{w}_a^R = \frac{w_a^R}{w_a^R + w_{hy}^R + w_{ry}^R}, \bar{w}_{hy}^R = \frac{w_{hy}^R}{w_a^R + w_{hy}^R + w_{ry}^R}, \bar{w}_{ry}^R = \frac{w_{ry}^R}{w_a^R + w_{hy}^R + w_{ry}^R}$$

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  $\sigma$  による  $i$  の像を表す。 $w_a^R, w_{hy}^R, w_{ry}^R$  はそれぞれ年齢・性別・世帯主との関係、居住年数、住宅築年数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の距離  $edis(\bar{a}_i^R, \bar{a}_{\sigma(i)}^{Rj})$  は、正規化されたユークリッド距離として、式(4)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。

$$edis(\bar{a}_i^R, \bar{a}_{\sigma(i)}^{Rj}) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{20} \min((a_{ik}^R - a_{\sigma(i)k}^{Rj})^2, D_{max})}{20 \cdot D_{max}}} \quad (4)$$

居住年数および住宅築年数に関するデータの距離  $tdis(hy_i^R, hy_{\sigma(i)}^{Rj}), mdis(ry_i^R, ry_{\sigma(i)}^{Rj})$  は、式(5)および

式(6)により算出する.

$$tdis(hy_i^R, hy_{\sigma(i)}^{Rj}) = |hy_i^R, -hy_{\sigma(i)}^{Rj}| \quad (5)$$

$$mdis(ry_i^R, ry_{\sigma(i)}^{Rj}) = |ry_i^R, -ry_{\sigma(i)}^{Rj}| \quad (6)$$

式(3)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、実時間での評価値算出を可能としている。

## 6. 将来世帯変遷マイクロシミュレーションの改良

再現性検証結果を踏まえ、将来世帯変遷マイクロシミュレーションの改良を行う。具体的には、以下の3点に関して予測修正、利用データの改良を行って予測シミュレーション精度の向上を図る。

### ①住宅ストックの更新

2時点の観測データより取得された住宅ストックの更新情報を、将来予測に反映する。その際、住宅ストックの除却は、観測データから建物タイプ別築年数別に算出した除却率により行い、新規住宅ストックの建設については観測データにおける建物タイプ別新規建設住宅数に将来各時点の供給率を設定して外生的に与える。

### ②転入世帯サンプルの調整

転入世帯データ作成の際に参照する転入世帯サンプルについて、再現性検証時の差を踏まえて調整を行う。具体には、ランダム抽出の対象となる転入世帯サンプルリストにおいて、転入世帯のうち構成割合が不足している世帯タイプのサンプルをコピーして割合を増やす。

### ③残留比率の調整

転入世帯サンプルの調整によって解決されない構成比率が高い世帯タイプについては、世帯人数別居住年数別住宅タイプ別残留比率の調整を行う。

以上のモデル改良を行った将来予測シミュレーション結果については、講演時に報告予定である。

## 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、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を行った。また、住宅ストックデータを分析単位とするマイクロデータの適合度評価手法による再現性検証、および再現性検証結果を踏まえたモデル改良方針について検討手法を示した。適合度評価結果およびモデル改良を行った将来予測シミュレーション結果については、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) 国土交通省：立地適正化計画策定の取り組み状況（平成 29 年 4 月 14 日現在），[http://www.mlit.go.jp/toshi/city\\_plan/toshi\\_city\\_plan\\_fr\\_000051.html](http://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/toshi_city_plan_fr_000051.html)
- 2) 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.
- 3) Wegener, M. : Overview of land-use transport models, Proc. of CUPUM'03, 2003.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 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.
- 11) 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，2016.
- 12) 杉木直，柏村晟也，大谷紀子，宮本和明：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，第 54 回土木計画学研究発表会・講演集，CD-ROM，2016.
- 13) 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.

- 14) 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.
- 15) 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.

(2017.4.28 受付)