

住宅ストック遷移を内生化した 都市マイクロシミュレーションの開発

杉木 直¹・鈴木 温²・宮本 和明³

¹正会員 豊橋技術科学大学准教授 工学部 (〒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正会員 名城大学教授 理工学部 (〒468-8502 愛知県名古屋市中白区塩釜口1-501)
E-mail: atsuzuki@meijo-u.ac.jp

³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、立地需要に対する住宅ストックの更新や、移転補助・建替補助等の施策の効果を計測可能な住宅ストックの供給主体を対象としたモデル化に関する研究蓄積は十分になされていない。このため、既成市街地における空き家の増加等の都市課題へ対応する立地適正化計画において、定量的な将来予測手法に基づいた居住誘導区域の設定やその検証が困難であった。本研究では、既マイクロシミュレーションモデルに住宅ストック遷移機能を付加することにより、立地適正化計画における立地誘導施策の定量的な評価が可能な都市マイクロシミュレーションモデルを構築する。住宅ストックの変化に関する既存研究を整理した上で、住宅ストック遷移および住宅ストックの遷移と関連付けられたマイクロ世帯の入居を表現するモデルを構築し、富山市を対象としたモデルの適用について、利用データや検証内容等を示す。

Key Words : *Micro-simulation, Housing Stock, Household Life Stage, Inducement Policy*

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自動車を運転できない高齢者等の交通弱者の増加や運転せざるを得ない高齢者による交通事故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』の考えに基いた立地適正化計画制度を創設し、H29年7月末時点で348市町が取組、112市が公表を行っている¹⁾。立地適正化計画においては、①一定エリアにおいて人口密度を維持する居住誘導区域を設定し、生活サービスやコミュニティを持続的に確保すること、②都市機能誘導区域の設定：居住誘導区域内の中心拠点や生活拠点に医療・福祉・商業等の都市機能を誘導し、都市サービスを効率的に提供すること、③拠点間を結ぶ公共交通サービ

スを充実し、公共交通沿線へ立地を誘導すること、④達成状況を評価し、状況に合わせて開発されてきた、都市計画や居住誘導区域を見直すなど、時間軸をもったアクションプランとして運用することなどが重要な視点となる。しかし、現在公表されている立地適正化計画では、既往の外生的な人口配置ビジョンに基づいて将来地区別人口を設定、または外生的な目標値を定めて進捗管理を行うなど、将来人口分布は外生的に設定されている。また、基本的な施策は公共用地の利活用（公共施設配置、公的住宅整備）、区域外への立地規制、公共交通サービスの充実などであり、誘導区域への移転補助、定住補助、建替補助等の施策は必要に応じて今後検討と記載されているケースが多く、居住に関する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。さらに、都市機能誘導区域のみを定め、居住誘導区域の設定は今後検討するとしている自治体が多く存在し、この要因としては、定量的な将来予測手法に基づいた居住誘導区域の設定や、その検証が困難であることが挙げら

れる。

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。中でも、マイクロシミュレーション型都市モデルは、近年欧米諸国を中心として積極的なモデル開発、適用に関する研究が進められている²⁾。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。世帯の多様な属性（高齢世帯、子育て世帯など）によって異なる都市サービス需要の予測、ライフステージ進行に伴う居住世帯の属性の変化の表現などの性能において、立地適正化計画が対象とする我が国の都市の計画課題に対する有用性が高いと考えられる。

本研究グループは、このような背景を踏まえ、以前の科研において縮退状況における都市マネジメントのための世帯マイクロシミュレーションシステム構築について、シミュレーション初期時点のマイクロ世帯データ作成や、居住立地マイクロシミュレーションによる将来予測と都市サービス需要予測に関する研究を行ってきた^{9) 10) 11) 12) 13)}。しかし、既開発の手法においては、都市の縮退下で起こる空家や空地の発生などの表現において限界があった。空家や空室に対する立地誘導施策を検討する際には、図-1に示すように、住宅ストックの老朽化や更新といった遷移を表現し、世帯のライフステージと住宅ストックの遷移がどのような関係を有しているかについて明らかにする必要がある。しかしながら、立地需要に対する住宅ストックの更新や、移転補助・建替補助等の施策の効果を計測可能な住宅ストックの供給主体を対象としたモデル化に関する研究蓄積は十分なされていない。

以上を踏まえ本研究では、既マイクロシミュレーションモデルに住宅ストック遷移機能を付加することにより、立地適正化計画における立地誘導施策の定量的な評価が可能な都市マイクロシミュレーションモデルを構築する

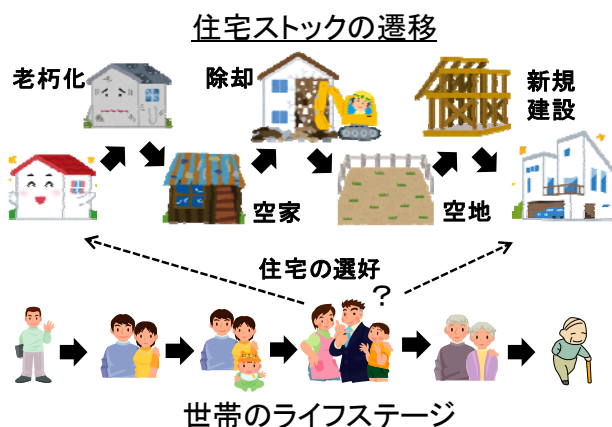


図-1 世帯ライフステージと住宅ストックの遷移

ことを目的とする。まずはじめに住宅ストックの変化に関する既存研究を整理した上で、建物ライフステージごとに住宅ストックの変化を表現する住宅ストック遷移モデルを構築する。構築した住宅ストック遷移モデルを既開発の都市マイクロシミュレーションモデルに組み込み、住宅ストックの遷移と関連付けられたマイクロ世帯の入居を表現する。また、富山市を対象としたモデルの適用について、利用データやパラメータ推定手法等を示す。

2. 住宅ストック変化に関する既存研究

(1) 欧米諸国の都市マイクロシミュレーションにおける住宅ストックのモデル化

欧米諸国においては、多くの都市マイクロシミュレーションモデルが開発されており、実際の都市や具体的な施策を対象とした適用がなされている。これらのモデルにおいて、主体の立地対象である床や建物の変化に関するモデル化の手法は、大別して集計的な床面積の変化量をモデル化しているもの、立地対象となるゾーンやグリッドセルの土地利用タイプを複数定義し、そのタイプ間の遷移をモデル化しているものに分類される。前者は立地主体に関してはマイクロシミュレーションであるが、床供給に関しては集計モデルの形式であり、後者はタイプ間の遷移をマイクロシミュレーションで表現しているが、ゾーンやグリッド内の建物は明示的に取り扱われていない。これらのモデルにおいては人口減少下を対象としたモデル開発ではないため、空き家や空室の表現については必要性が少ないが、わが国の都市課題や居住誘導施策を評価する上では、建物ストックの遷移を含むモデル化の必要がある。

(2) 住宅ストックの変化を対象とした既存研究

わが国における住宅ストックの将来予測モデルに関する研究としては、古くは林・富田¹⁴⁾において期待収益に対する住宅供給がモデル化されているが、ゾーン別住宅タイプ別の床面積の供給を集計的に表現するものである。市川・鈴木¹⁵⁾はマッチング理論とダブルオークションの概念に基づいて、住宅市場における世帯と住宅供給者の価格交渉、住宅価格の遷移をモデル化しており、空き家の発生が表現されているが、住宅の新規立地や建て替えは考慮されていない。また、浅田らはサポートベクターマシンにより、10×10mメッシュ単位で住宅の出現、消失パターンを推定を行っているが、表現しているが、マシンラーニング手法により学習された住宅ストックの遷移パターンを将来予測に用いるものであり、当該メッシュと周辺の建物状況のみが考量されている。このため、将来の立地需要の変化や居住誘導施策の影響等に対しては感度を持っていない。

土地区画レベルの建物分布予測を対象とした研究としては柿本ら¹⁷⁾、Hammadら¹⁸⁾、寺島ら¹⁹⁾によるものがあり、これらの一部にはマクロシミュレーションの適用がなされている。また林ら²⁰⁾、杉木ら²¹⁾²²⁾は、さら土地区画の分割や統合についても対象としたモデル構築を行っている。本研究は、自治体や都市圏レベルの都市マクロシミュレーションにおける供給側のモデル構築を行うものであり、街区内の個々の土地区画単位で詳細な建物分布を予測するこれらの研究とは空間スケールが異なる。よって、マクロシミュレーションの要素として個々の土地区画を取り扱うものの、町丁ゾーン程度の空間集計単位を対象としたモデル構築を新たに行うものである。

3. 住宅ストック遷移を内生化した都市マクロシミュレーション

(1) モデル概要

本研究で構築する都市マクロシミュレーションモデルの概要を図-2に示す。モデルは、世帯の変化を予測する「ライフイベント発生モデル」、「立地選択モデル」、住宅ストックの変化を予測する「住宅ストック遷移モデル」、世帯の住宅ストックへの割り当てを表現する「世帯-住宅マッチングモデル」、住宅地代の更新を行う「住宅地代モデル」によって構成される。これらのうち、「ライフイベント発生モデル」、「立地選択モデル」については鈴木らによる既開発の世帯マクロシミュレーションモデル¹²⁾を用いる。よって、本研究では「住宅ストック遷移モデル」、「世帯-住宅マッチングモデル」を対象とした開発を行う。

「ライフイベント発生モデル」では、加齢、死亡、進学・就職、結婚、出生の各ライフイベントをシミュレートし、世帯の遷移が表現されるとともに、世帯の独立による新規発生世帯が生成される。続いて、各世帯に対する転居の発生を予測し、転居世帯と新規発生世帯に対し、「立地選択モデル」で住宅タイプの選択および立地ゾーンの選択を予測する。「住宅ストック遷移モデル」ではゾーン内の住宅に対し、加齢（築年数の更新）を行った後、除却、新規建設を順に予測する。転居の発生予測段階で、転居が発生した世帯の現住居は空き家へ更新される。除却は空き家に対して行われ、除却された住宅は空地となる。また、新規建設は空地に対して行われる。ここで、除却および建設は、T期からT+1期の間のタイプ別世帯数の変化量に影響を受けるものとし、住宅タイプごとの立地需要に対応した建物供給をモデル化する。続いて、「世帯-住宅マッチングモデル」において、今期に立地選択を行った世帯と、新規建設住宅を含む空き家とのマッチングを行い、T+1期のマイクロ世帯の居住分布、空地・空家を含む住宅ストックマイクロデータが出

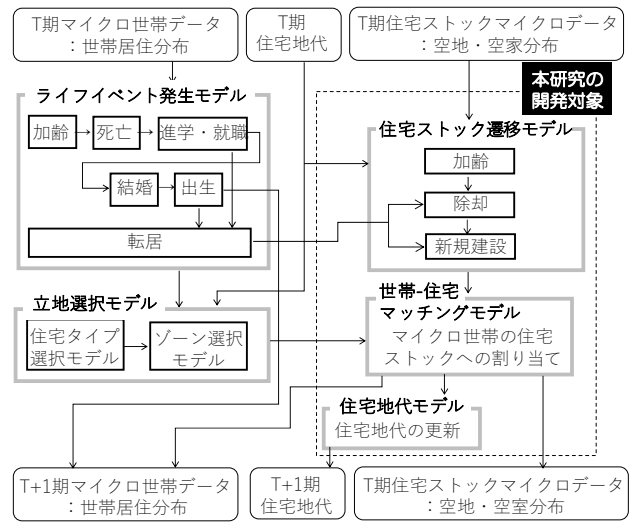


図-2 モデル構造

力される。最後に、「住宅地代モデル」において、世帯の立地需要と建物による供給バランスを考慮したT+1期の住宅地代が算出される。住宅地代は、「立地選択モデル」における住宅タイプと立地ゾーンの選択において主要な説明変数となるとともに、「住宅ストック遷移モデル」における除却と建設において、建物からの収益を規定する。

(2) 住宅ストック遷移モデル

住宅ストック遷移モデルでは、個々の住宅に対する築年数の更新を行った後、建物を除却し空地とするか否か、空地への新規建設を行うか否かをマクロシミュレーションにより表現する。

ゾーン*i*におけるタイプ*k*の建物*h*の所有者は、T+1期において建物*h*より得られる収益 $B_{h,ki}$ を式(1)のように予測するものとする。

$$B_{h,ki} = \alpha_0^k + \alpha_1^k R_i n_h - \alpha_2^k BY_h + \alpha_3^k \Delta N_{ki} \quad (1)$$

R_i : ゾーン*i*のT期の住宅地代

n_h : 建物*h*の住居戸数（集合住宅戸数、戸建は1）

BY_h : 建物*h*の築年数

ΔN_{ki} : ゾーン*i*におけるタイプ*k*の建物へ居住する世帯数のT期からT+1期にかけての変化量

$\alpha_{0\sim3}^k$: パラメータ

ここで、右辺第3項は建物の老朽化による収益の低下を、第4項は立地需要の変化による期待収益の変動を表している。

ゾーン*i*におけるタイプ*k*の建物の除却は、式(2)のような二項ロジットモデルによる除却確率 P_{ki}^d に基づくモンテカルロシミュレーションにより行われる。

$$P_{ki}^d = \frac{\exp \delta^d \pi_{ki}^d}{\exp \delta^d \pi_{ki}^d + \exp \delta^r \pi_{ki}^r} \quad (2)$$

π_{ki}^d : ゾーン i , 建物タイプ k の建物を除却する場合の期待収益

π_{ki}^r : ゾーン i , 建物タイプ k の建物を留保する場合の期待収益

δ^d : パラメータ

建物を除却する場合と留保する場合の期待収益は、それぞれ式(3), 式(4)で表される。

$$\pi_{ki}^d = \frac{1}{\theta} \ln \sum_{k'} \exp \theta B_{ki}^{new} \quad (3)$$

$$\pi_{ki}^r = B_{ki} \quad (4)$$

ここで, B_{ki}^{new} は新規建設の場合の期待収益であり式(5)のように定義される。

$$B_{ki}^{new} = \alpha_0^k + \alpha_1^k R_i n_{ki} + \alpha_3^k \Delta N_{ki} \quad (5)$$

n_{ki} : ゾーン i におけるタイプ k の建物の平均
住居戸数 (集合住宅戸数, 戸建は1)

建物が除却される場合は, 空地に更新され, 空地リストに加えられる。

空地に対する新規建物の建設は, 建物タイプ k の選択確率 P_{ki}^c に基づくモンテカルロシミュレーションにより行われる。建物タイプ k の選択確率 P_{ki}^c は, 式

(5) の新規建設の場合の期待収益を用い, 式 (6) のような多項ロジットモデルで表される。

$$P_{ki}^c = \frac{\exp \delta^c B_{ki}^{new}}{\sum_{k'} \exp \delta^c B_{k'i}^{new}} \quad (6)$$

δ^c : パラメータ

ここで, この建物タイプの集合 k' には, 建設せずに空地のままとする場合も含まれる。集合住宅戸数はゾーン別の戸数の実績分布に対し乱数を発生させて決定する。新規建設された住宅は空家リストに加えられる。

(3) 世帯-住宅マッチングモデル

世帯-住宅マッチングモデルでは, 転居世帯および新規発生世帯の空家リストからの居住住宅の選択をマイクロシミュレーションにより表現する。建物タイプ k に居住を希望する世帯タイプ m の世帯が, 空家リスト内の住宅 r を選択する確率は式(7)で表される。

$$P_{m,r,ki}^s = \frac{\exp \delta^s V_{r,ki}^m}{\sum_{r'} \exp \delta^s V_{r',ki}^m} \quad (7)$$

δ^s : パラメータ

ここで, $V_{r,ki}^m$ はゾーン i において建物タイプ k に居住を希望する世帯タイプ m の世帯が, 空家 r に居住することにより得られる効用であり, 式(8)で定義される。

$$V_{r,ki}^m = \beta_0^{m,k} - \beta_1^{m,k} R_i - \beta_2^{m,k} B Y_r \quad (8)$$

$\beta_{0\sim 2}^{m,k}$: パラメータ

(4) 住宅地代モデル

住宅地代モデルでは, 世帯と住宅ストックのシミュレーション結果を踏まえ, T+1期の住宅地代を更新する。世帯の立地需要と建物による供給バランスを考慮し, 住宅地代を式(9)により算出される。

$$\ln R_i = \sum_l \gamma_l' \ln X_{li} + \gamma_2 \ln \frac{L_i}{H_i} + \gamma_3 \ln VL_i + \gamma_4 \ln VR_i \quad (9)$$

X_{li} : ゾーン条件

L_i : ゾーン i の住宅地面積

H_i : ゾーン i の立地世帯数

VL_i : ゾーン i の空地率

VR_i : ゾーン i の空家率

$\gamma_{1\sim 4}$: パラメータ

ここで, 右辺第1項はゾーン利便性を, 第2項は立地密度を, 第3項および第4項は空地および空家による住宅地価の低下を表している。

4. 富山市における適用

(1) ゾーン設定

本研究では, 前項において構築されたモデルを富山市を対象として適用する。分析ゾーンは, 図-3に示すような, 国勢調査中ゾーンをベースとした82ゾーンを設定する。

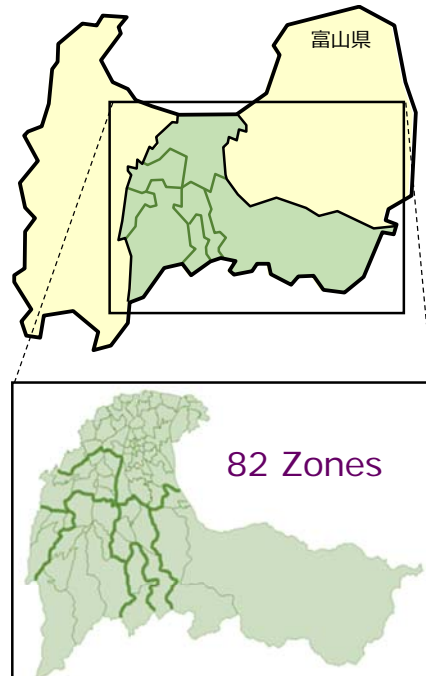


図-3 ゾーン設定

(2) 利用データ

ゾーン別のマイクロ世帯データは, 既存研究¹⁰⁾において作成されたものを用いる。これは, 周辺分布である平

成22年国勢調査の人数別世帯数および性別年齢階層別人口と、平成23年12月に富山市全域を対象に郵送配布、郵送回収形式で実施されたアンケート調査により入手された、3,864世帯、9,747人分のマイクロ世帯データサンプルを用い、初期マイクロ世帯推計手法を適用して推定されたものである。

住宅ストックマイクロデータとしては、株式会社ゼンリンの住宅ポイントデータを利用する。このデータは、個々の住宅について、緯度経度、建物階数、敷地面積、床面積、集合住宅の戸数、空室状況等を含んでおり、2時点のデータの比較により、除却、新規建設、建替等の判定が可能である。また、築年数、空地、住宅地面積については富山市都市計画基礎調査データを用いる。住宅ポイントデータのマッチングにより住宅マイクロデータに築年数を付加し、空地はゾーン別にリスト化する。

作成されたマイクロ世帯データと住宅ストックマイクロデータを、マイクロ世帯サンプルとの類似性に基づくマッチング手法²⁹⁾により統合し、各住宅への入居状況を含む住宅ストックマイクロデータを作成する

(3) パラメータ推定

作成された2時点の住宅ストックマイクロデータを比較し、建物の除却、空地への新規建設、建替といった遷移が生じているものを抽出し、除却モデルおよび新規建設モデルのパラメータ推定を行う。また、アンケートサンプルと空室リストより、世帯-住宅マッチングモデルのパラメータを推定する。地代モデルは、公示地価データとゾーン単位で集計された立地世帯数、空地数、空家数を用いて推定する。

5. おわりに

本研究では、住宅ストックの遷移を内生化した都市マイクロシミュレーションモデルについて、分析の枠組みを示し、既開発モデルに組み込む住宅ストックの遷移、世帯と住宅のマッチング等について具体的なモデルの定式化を行った。今後は、データベースの作成、パラメータ推定の実行等を進め、モデルの検証を行うとともに、居住費補助等の誘導施策の評価について検討を行うべく予定である。

謝辞：本論文は、科学研究費補助金（基盤研究（C））、課題番号：17K06597、研究課題名：住宅ストック遷移を内生化した都市マイクロシミュレーションの開発と政策分析への適用）の支援を受けて実施した研究である。また、アンケート調査は、富山市都市整備部都市政策課には多大なるご協力をのもとで実施したものである。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 立地適正化計画作成の取組状況：国土交通省 HP、http://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/toshi_city_plan_fr_000051.html
- 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) 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.
- 10) 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.
- 11) Otani, N., Fukuoka, Y., Sugiki, N., and Miyamoto K.: Tailor-made Selection of Policy Measures for Households Based on the Detailed Attributes by Segmentation Approach with Decision Tree Analysis, *Proceedings of CUPUM 2015*, 242-Paper, Web, 2015.
- 12) 鈴木温・杉木直・宮本和明：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 - 人口 40 万人規模の富山市を対象として -, 都市計画論文集, No.51-3, pp.839-846, 2016.
- 13) Sugiki, N., Miyamoto K., Kashimura A., and Otani, N.: Household micro-simulation model considering observed family histories in a suburban new town, S.Geertman et al. (eds.), *Planning Support Science for Smarter Urban Futures*,

Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, pp.207-229, 2017.

- 14) 林良嗣, 富田安夫: 住宅立地の動的予測方法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.9, pp.115-122, 1986.
- 15) 市川航也, 鈴木温, John Abraham: Bid-offer 価格に着目した住宅市場シミュレーションモデルの構築, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, CD-ROM, 2013.
- 16) 浅田拓海, 生富直孝, 有村幹治: SVM を用いた空間的立地パターン判別による将来居住分布の推定, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 71, No. 5 pp.I_221-I_228, 2015
- 17) 柿本竜治, 溝上章志: 新市街地型区画整理事業地区内マイクロ立地モデルの構築, 都市計画論文集, No.37, pp.109-114, 2002.
- 18) Hammad Amin, Yasuo Tomita, Yoshitsugu Hayashi: GIS-Baed Microsimulation Syem for Evaluationg Urban Space Usage, 土木計画学研究・講演集, No.22(2), pp.359-363, 1999.
- 19) 寺島大輔, 富田安夫, 黒田大心: 建物立地分布の 3 次元可視化のための用途・階数別建物分布モデルの試み, 土木計画学研究・講演集, No.26, CD-ROM, 2002.
- 20) 林良嗣, 加藤博和, 杉原健一, 田中祥晃, 吉岡美保: 不動産税制による既存市街地の敷地統合促進に関するモデル分析と可視的評価システム, 土木計画学研究・講演集, No.23(2), pp.475-478, 2000.
- 21) Sugiki, N., Aoshima, N., Shima, K., Furusawa, K. : A Study on Urban Development Trend and the Suburbanization Using the Geographical Information System in a Local City, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.3, No.3, pp.257-270, 2001.
- 22) 杉木直・大橋啓造・宮本和明: 既成市街地を対象とした詳細土地利用マイクロシミュレーションシステムの構築, 土木計画学研究・講演集, No.27, CD-ROM, 2003.
- 23) 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.