

# マイクロシミュレーション型住宅市場モデルの 推定と発展可能性

鈴木 温<sup>1</sup>・岩瀬 拓史<sup>2</sup>・北詰 恵一<sup>3</sup>・宮本 和明<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 名城大学准教授 理工学部建設システム工学科 (〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501)  
E-mail:atsuzuki@meio-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 東海旅客鉄道株式会社 (〒160-0004 東京都新宿区三矢六丁目13-5)

<sup>3</sup>正会員 関西大学准教授 環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)  
E-mail: kitazume@kansai-u.ac.jp

<sup>4</sup>フェロー 東京都市大学教授 環境情報学部環境情報学科 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1)  
E-mail:miyamoto@tcu.ac.jp

筆者らは、これまで多様な世帯と多様な住宅のマッチングに着目した住宅市場モデルを構築してきた<sup>1),2),3)</sup>。マッチングを考慮した本モデルは、実際の市場メカニズムを表現できる方法として有用な方法であるが、実際の世帯、住宅のデータによる世帯の効用推定は容易ではない。そこで、本研究では、住宅市場モデルの効用推定に関する方法論を提案する。また、推定されたモデルを用い、実データを用いたシミュレーションを行う。最後に現状の課題と今後の発展の方向性についても論じる。

**Key Words :** *land-use model, micro-simulation, matching, housing market*

## 1. はじめに

筆者らは、これまで多様な世帯と多様な住宅のマッチングに着目した住宅市場モデルを構築してきた<sup>1),2),3)</sup>。従来のマイクロシミュレーションモデルは、世帯と住宅とがランダムに割り当てられていることが多いため、世帯属性と住宅属性の高い相関性を表現できなかったことや価格形成メカニズムが組み込まれていなかった等の問題があった。マッチングを考慮した本モデルはこれらの問題を解消し、実際の市場メカニズムを表現できる方法として有用な方法である。しかし、実データをもとに効用を推定し、世帯の住宅に対する選好順位を求める必要があるが、多様な世帯の効用推定は容易ではない。

そこで、本研究では、マッチングモデルの効用推定に関する方法論を提案する。また、推定されたモデルによるシミュレーションを行う。その上で、市場特性に応じたマッチングのアルゴリズムの違いや、現状の課題を整理し、今後の発展の方向性についても論じる。

## 2. 既存研究と本研究の位置づけ

### (1) マイクロシミュレーション型土地利用モデル

これまでに多くのマイクロシミュレーション型の土地利用モデルが開発されている。UrbanSim<sup>4),5)</sup>、ILUTE<sup>6)</sup>、

PECAS<sup>7)</sup>、ILUMASS<sup>8)</sup>、<sup>9)</sup>などが代表的なモデルである。これらの多くのマイクロシミュレーション型のモデルでは、世帯の立地選択や住宅選択や市場メカニズムがモデル化されている。このうち、代表的なマイクロシミュレーション型土地利用モデルであるUrbanSimでは、世帯の詳細な土地区画への立地選択をモンテカルロシミュレーションを用いたランダムマッチングとしてモデル化し、土地の価格は、ヘドニック回帰によって推定されている。このような方法は一般的な方法であり、推定が簡易であることから実用的である。しかし、モンテカルロシミュレーションによるランダムな割り当ては、結果が毎回異なり、結果の評価が難しいことに加えて、価格形成メカニズムと立地選択が乖離していることが問題である。

### (2) 立地、住宅選択におけるマッチングモデル

上記のような問題を解決するために、Suzuki et al.<sup>11)</sup>は、世帯と住宅のマッチングと価格形成メカニズムを内包した住宅市場モデルを提案した。マッチングに関する理論は、労働市場、学区割り当て、研修医と病院の割り当て問題等、様々な分野に応用されている。住宅市場の分野においては、Wheaton<sup>10)</sup>が住宅市場における世帯の住宅サーチ行動とマッチングをモデル化している。Wheaton<sup>10)</sup>のモデルは単純化された理論モデルであり、ランダムマッチングを仮定している。Abdulkadiroglu et al.<sup>11)</sup>は、

市場メカニズムを模倣した部屋の割り当て問題に対し、オークションメカニズムを提案した。国内では、丹呉<sup>12)</sup>らが住宅市場のマッチングを考慮した理論モデルを構築し、住宅の長寿命化政策の分析を行っている。

これらの研究は、簡略化された前提条件の下での理論モデルによる研究であるが、本研究では、現実の都市のデータを用いたマイクロシミュレーション型住宅市場モデルにマッチングとオークションプロセスを導入しようというものである。次章では、これまでに提案してきたモデルの理論的な枠組みを説明する。第4章以降では、札幌都市圏の世帯、住宅データを用いたモデルの推定とシミュレーション結果を示す。

### 3. 住宅市場モデルの理論的枠組み

#### (1) シミュレーションの全体フロー

住宅市場モデルの推定からシミュレーションに至る流れを図-1に示す。フローは大きく分けて、世帯と住宅の生成、住宅タイプ選択モデル、住宅選択モデル、マッチングおよび価格形成モデルの4つのパートに分かれている。それぞれのパートに対して、左サイドは世帯の行動を、右サイドは住宅供給者の行動を表している。

本モデルでは、世帯の住宅選択は、2段階で行われると仮定している。第一段階は、住宅タイプの選択であり、持家戸建、持家集合、賃貸戸建、賃貸集合の4つの住宅タイプの選択を行うと考える。第二段階は、世帯が選んだ住宅タイプの中から望ましい住宅を選択する段階である。それぞれの段階に対し、世帯属性、住宅属性を説明変数として持つ効用関数を推定する。世帯の住宅に対する選好は推定された効用関数から導出することができる。一方、住宅供給者の世帯に対する選好は、住宅に応募してきた世帯の提示する付け値によって順位付ける。

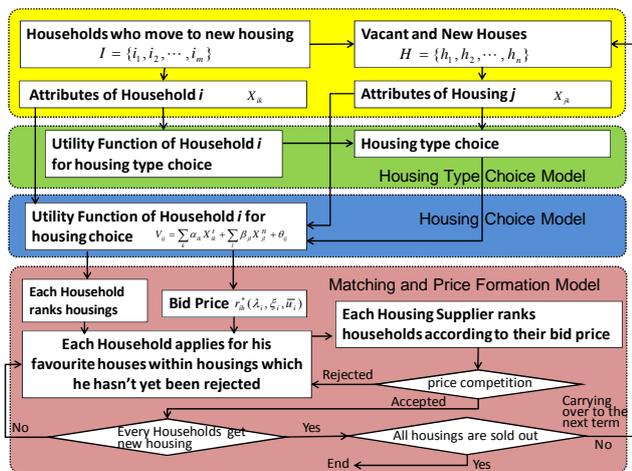


図-1 住宅市場モデルのシミュレーションフロー

#### (2) 世帯の住宅に対する選好

住宅市場モデルは、世帯集合 $I$ と住宅集合 $H$ によって構成される。

$$I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\} : \text{世帯集合}$$

$$H = \{h_1, h_2, \dots, h_n\} : \text{住宅集合}$$

ここで、 $m$ は当期に市場に参加している世帯数、 $n$ は当期に市場に供給されている住宅数を表している。

世帯の住宅に対する選好は効用関数から導かれる。世帯は予算制約の下での効用最大化行動を行っていると考え、世帯 $i$ の間接効用関数 $u_i$ は、世帯属性、住宅属性、住宅価格の関数として、式(1)のように表される。

$$u_i(X_{ik}^I, X_{jl}^H, r_j) \quad (1)$$

$$X_{ik}^I = \{X_{i1}^I, X_{i2}^I, \dots\} : \text{世帯}i\text{の属性集合}$$

$$X_{jl}^H = \{X_{j1}^H, X_{j2}^H, \dots\} : \text{住宅}j\text{の属性集合}$$

$$r_j = \{r_1, r_2, \dots, r_n\} : \text{住宅}j\text{の価格}$$

世帯属性の変数は、世帯主年齢、世帯人数、子供の数等が考えられる。住宅属性には、床面積、部屋数、アクセシビリティ、周辺環境等が考えられる。また、世帯は効用関数から新たな住宅に対する選好順位を付けるが、現在居住している住宅に対する選好順位も含める。それによって、現在の住宅にとどまるという選択肢を持つことができる。

#### (3) 住宅供給者の世帯に対する選好

世帯の付け値は、間接効用  $u_i(X_{ik}^I, X_{jl}^H, r_j)$  がある一定の値  $V_i^*$  を満たすという条件で、世帯が住宅に対して払うことができる最も高い金額という定義から、世帯 $i$ の住宅 $j$ に対する付け値関数は、式(2)のように表すことができる。

$$r_{ij}^* = r(X_{ik}^I, X_{jl}^H, V_i^*) \quad (2)$$

本モデルでは、世帯と住宅供給者の取引における価格形成は、ある住宅に応募する世帯間の付け値競争によって価格が決定するものとする。

#### (4) 世帯と住宅のマッチングアルゴリズム

本モデルでは、世帯の住宅に対する選好と付け値から得られる住宅と世帯のマッチングを考慮することによって、世帯の住宅選択をモデル化する。前述のように、Urbansimのような従来のマイクロシミュレーション型土地利用モデルでは、世帯の立地や住宅選択は、ランダムに行われることが多かった。しかし、世帯の住宅選択は、

世帯属性に強く依存しているため、住宅の選択には世帯属性を説明変数とする何らかの選択構造を仮定すべきである。また、価格形成とマッチングが切り離された構造ではなく、選択行動や価格競争の結果、市場価格が形成されるメカニズムをモデル化する必要がある。そこで、筆者らはこれまでに、価格競争メカニズムを内包したマッチングによる世帯の住宅選択行動をモデル化してきた。

世帯と住宅のマッチングのアルゴリズムには、これまでに提案されてきた様々なアルゴリズムが適応可能である。しかし、本モデルでは、Gale and Shapley<sup>13)</sup>のアルゴリズムを採用している。Gale and Shapley<sup>13)</sup>のアルゴリズムを採用する理由としては、第一に簡単なアルゴリズムで、計算が容易であること、第二に必ず唯一の安定解に収束すること、第三に住宅の選択行動にも応用可能な選択基準を採用していること等が挙げられる。もともとGale and Shapley<sup>13)</sup>のモデルは、男女の結婚問題を対象としたアルゴリズムである。そのため、価格の概念が組み込まれていない。住宅市場のモデルに応用するためには、住宅市場の特徴に合うように価格を組み込んだ形に拡張する必要がある。住宅市場のマッチングのアルゴリズムは、以下のように表される。

#### ステップ1

すべての移転世帯は購入可能な住宅の中から最も望ましい住宅に応募

#### ステップ2

すべての住宅供給者は購入を希望している世帯の中から最も好ましい（最も大きい付け値を提示した）世帯を選択する。しかし、住宅供給者は、より条件の良い需要者出現の可能性を残すため、この世帯を一時的にキープする。

#### ステップ3

購入を拒否された世帯は、まだ購入を拒否されていない購入可能な空家住宅の集合の中から最も好ましい住宅に応募。もし購入可能な住宅の集合が空ならば、今期はどの住宅への移転を取りやめる。

#### ステップ4

住宅供給者は選択している世帯と新しく応募を受けた世帯の中から最も好ましい世帯を選択する。

以下、第3、第4ステップを繰り返し、すべての世帯が拒否されなくなるか、転居をあきらめた段階でアルゴリズムは終了する。

Gale and Shapley<sup>13)</sup>のアルゴリズムは、必ず唯一の安定解に収束することが知られているが、価格を導入した形に拡張を行った本モデルのアルゴリズムにおいても同様に唯一の安定解に収束する。また、世帯数と住宅数が一致しない場合でも安定解に収束する。その場合、余った

世帯や住宅のマッチングは次期に持ち越されることになる。

## 4. 住宅市場モデルのキャリブレーション

### (1) 対象地域

前章までの住宅市場モデルの理論的フレームワークをもとに、第4章では、実際の世帯と住宅のデータを用いたモデルのキャリブレーションを行う。本研究では、北海道の札幌都市圏を対象地域とし、2006年に実施された第4回道央都市圏パーソントリップ調査の付帯調査であるライフスタイル調査のデータを用いることとする。

### (2) 世帯データ

ライフスタイル調査には、世帯属性のほか、世帯の現在の住まいの住宅属性や住み替え前の住宅タイプ等に関するデータが含まれている。世帯の効用関数の推定には、世帯属性と住宅属性の両方を用いることから、本モデルのキャリブレーションに適したデータであると言える。世帯のサンプル数は、10,414であり、これを3つの世帯タイプ、4つの住宅タイプのグループに分類する。世帯および住宅タイプの分類と各カテゴリーに含まれる世帯数は、表-1の通りである。

表-1 世帯、住宅のカテゴリーとサンプル数

	世帯および住宅タイプ分類	世帯数
世帯	単身世帯	3,149
	夫婦、兄弟世帯	2,794
	核家族、2世代以上世帯	4,471
	計	10,414
住宅	賃貸戸建住宅	281
	持家戸建住宅	4,372
	持家集合住宅	2,021
	賃貸集合住宅	3,740
	計	10,414

### (3) 住宅タイプ選択モデルのキャリブレーション

住宅タイプ選択モデルは式(3)のような多項ロジットモデルによって表される。式(3)の $P_{ij}$ は、世帯 $i$ が住宅タイプ $j$ を選択する確率であり、 $V_{ij}$ は、世帯 $i$ の住宅 $j$ に対する間接効用の確定項である。 $V_{ij}$ は、式(4)のように、世帯属性に関する説明変数と住宅属性に関する説明変数によって構成される。

$$P_{ij} = \frac{\exp(V_{ij})}{\sum_j \exp(V_{ij})} \quad (3)$$

$$V_{ij} = \sum_k \alpha_{ik} X'_{ik} + \sum_l \beta_{jl} X''_{jl} + \theta_{ij} \quad (4)$$

ライフスタイル調査のデータを用い、パラメータ推定を行った結果を表-2に示す。世帯属性に関する説明変数は、世帯主年齢と世帯人数とした。住宅属性に関する説明変数は、居住年数、以前の住宅タイプ（持家、戸建）のダミー変数とした。持家集合住宅を除く住宅タイプについては、説明変数の値は有意な結果が得られた。

表-2 住宅タイプ選択モデルの推定結果

住宅タイプ 変数	持家戸建	持家集合	賃貸集合
	パラメータ t 値	パラメータ t 値	パラメータ t 値
世帯主年齢	0.014 2.909*	0.020 4.063**	-0.019 -3.900**
世帯人数	0.163 3.014**	-0.131 -2.354	-0.535 -9.833**
居住年数	0.100 11.312**	0.016 1.803	-0.027 -2.973*
以前の住宅 (持家ダミー)	1.955 9.326**	2.259 10.468**	1.481 6.985**
以前の住宅 (戸建ダミー)	-1.119 -7.693**	-2.174 13.944**	-1.598 -10.763**
定数	0.369 1.218	1.351 4.412**	5.196 17.731**
サンプル数	10414		
決定係数	0.39		

\*\* : 1%有意, \*5%有意

#### (4) 住宅選択モデルのキャリブレーション

前述のように、本研究では、世帯は、まず住宅タイプを選択し、その後、住宅タイプの中から望ましい住宅を選択するという二段階の手順を踏むと仮定している。このような仮定は、現実の住宅選択を考えてみても不自然ではない。持家か賃貸か、あるいは、集合住宅か戸建住宅かという選択は、個々の住宅を検討する前にある程度決めてから、個別の住宅の選択に入ると考えるのは自然な考え方である。

住宅選択モデルも多項ロジットモデルによって推定を行った。世帯に関する説明変数は、世帯主年齢と世帯人数、住宅属性に関する説明変数は、部屋数、築年数、階数、住宅価格（賃貸住宅の価格については、家賃）とした。なお、住宅価格はライフスタイル調査の調査項目ではないため、札幌市内の住宅の市場価格をもとに相場の推定式を作成し、推定式に住宅属性の変数を代入することにより、住宅価格を推定した。また、住宅の選択肢として、サンプル世帯の住むすべての住宅を選択肢の対象とすると、選択肢の数が多くなりすぎ、推定が困難であることから、中心部（札幌駅まで30分以内）と郊外部（札幌市まで30分以上）の2つの選択肢に分け、効用関数の推定を行った。このようなモデルはかなり粗い設定

であるため、今後、住宅選択モデルの効用の推定は改善が必要である。

表-3に住宅タイプ別の住宅選択モデルのパラメータ推定結果を示す。パラメータ推定は、住宅タイプ別に行い、それぞれの推定によって得られたパラメータ値とt値を表している。持家集合住宅以外の住宅タイプについては、推定結果が芳しくなく、改善が必要である。

表-3 住宅タイプ別住宅選択モデルの推定結果

住宅タイプ 変数	持家戸建	持家集合	賃貸集合
	パラメータ t 値	パラメータ t 値	パラメータ t 値
世帯主年齢	0.004 1.735	-0.003 -0.551	0.001 0.348
世帯人数	-0.018 -0.552	0.050 0.665	0.192 5.013**
部屋数	0.252 6.662**	-5.777 -19.109**	-1.452 -16.966**
築年数	-0.034 -9.524**	0.583 18.759**	0.055 8.020**
階数	0.800 10.541**	-0.769 -17.475**	-0.099 -5.590**
住宅価格	-0.001 -16.191**	0.027 20.339**	0.861 15.248**
定数	0.390 1.256	-3.020 -3.748**	-1.438 -6.957**
サンプル数	4372	2021	3740
決定係数	0.07	0.72	0.09

\*\* : 1%有意, \*5%有意

## 5. 結果と考察

### (1) マッチングシミュレーションのサンプルデータ

前章で推定された効用関数から、世帯の住宅に対する選好順位および、付け値が得られる。選好順位が得られれば、3(4)で説明したアルゴリズムに従って、世帯と住宅のマッチングを行うことができる。マッチングシミュレーションに用いる世帯のサンプルは、ライフスタイル調査の10,414サンプルのうち、現在、居住する住宅タイプ別に200世帯をランダムに抽出した。一方、住宅に関するサンプルは、現在、札幌市内で売りに出されている住宅から1住宅タイプにつき、200戸を抽出した。表-4にはこのうち、持家戸建住宅のサンプルデータを示す。

住宅のデータは、Webの不動産情報から各区20ずつ、ランダムに収集し、計200サンプルのデータを得た。収集した持家戸建住宅の住宅属性のうち、最寄駅から札幌駅までの時間、床面積、住宅価格の区別の平均値を表-4に表示している。

表4 マッチングシミュレーションに用いる住宅データ  
(持家戸建住宅)

区	サンプル数	最寄駅から 札幌駅までの 時間(分)	平均床 面積(m <sup>2</sup> )	平均住宅価格 (百万円)
中央区	20	11.0	201.8	34,620
北区	20	22.7	194.1	15,755
東区	20	16.9	211.5	22,913
南区	20	31.8	216.9	10,705
西区	20	28.1	215.1	16,451
厚別区	20	16.7	229.4	22,517
手稲区	20	19.1	212.0	17,615
白石区	20	12.4	154.2	20,369
豊平区	20	18.2	215.8	21,913
清田区	20	29.2	185.6	13,590
計	200	20.6	203.6	19,645

## (2) 世帯と住宅供給者の選好

住宅供給者の世帯に対する選好順位は応募世帯の付ける付け値によって決定される。世帯*i*の住宅*j*に対する付け値は、(5)式によって得られる。ここで、 $\beta_{ij}$ は、住宅価格のパラメータ値を表しており、 $V^*$ は、世帯の間接効用の期待値を表している。 $V^*$ は、各世帯タイプの効用関数のログサムの形で求めることができる。また、効用関数の確率項  $\varepsilon_{ij}$ は、ランダムに分布しているものとした。

$$r_{ij}^* = \frac{V^* - V_{ij} - \varepsilon_{ij}}{\beta_{jr}} + r_j \quad (5)$$

## (3) シミュレーション結果と考察

3, 4章で構築した住宅市場のモデルを用い、200世帯と200戸の住宅のマッチングシミュレーションを行った。マッチングの計算時間は、極めて短い時間で唯一の安定解に収束した。ちなみに、1000世帯×1000戸の住宅でもシミュレーションを行ってみたが、5秒以内に収束に至った。このマイクロシミュレーションのモデルによって、将来的には、数十万規模の都市を対象としたシミュレーションに適用したいと考えている。

シミュレーションの結果、世帯と住宅のマッチングとともに、価格も同時に求まる。図-2にシミュレーションの結果得られた住宅価格と実績値の住宅価格を比較し、プロットしたものを示す。これによるとまだばらつきが大きく、改善の余地がある。特に、実績値に比べ、シミュレーション結果のデータは、住宅価格が高い値になりがちである。この一つの理由としては、本モデルでは、各世帯は、対象となるすべての住宅に順位付けを行い、応募することが可能である。したがって、価格競争の結果、極めて多くの住宅の価格競争に参加する世帯も生ず

る。これにより、実際よりも高い価格で市場価格が決定している可能性が考えられる。

世帯と住宅のマッチングに着目した住宅市場のモデル化を行ったことにより、明らかとなった興味深い示唆がいくつか得られている。その一つとして、世帯の住宅に対する類似性の影響が挙げられる。世帯と住宅の数が同一の場合でも、世帯の住宅に対する選好の類似性が高い場合には、市場価格は高くなり、最終的なマッチング結果は、住宅供給者に有利な結果となる。一方、世帯の住宅に対する選好にばらつきが大きい場合は、世帯にとって望ましい住宅が手に入りやすく、結果的に市場価格も低く抑えられる傾向があることがわかった。

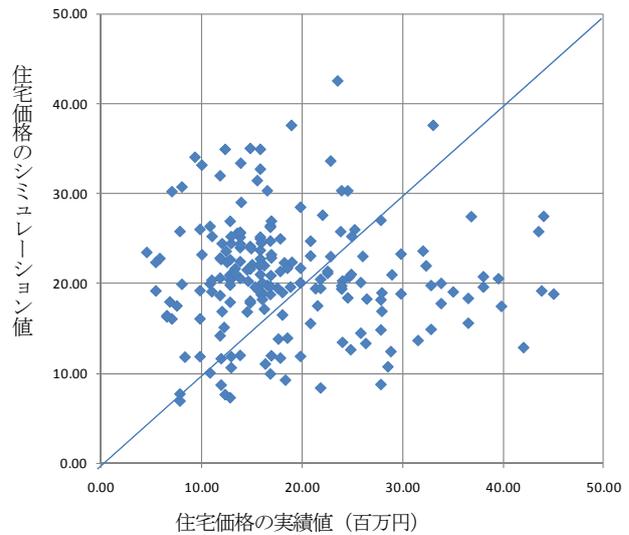


図-2 住宅価格のシミュレーション値と実績値の比較

## 6. 住宅市場モデルの課題と今後の発展

### (1) 住宅市場モデルの課題

マイクロシミュレーション型土地利用モデルにおける住宅市場のモデル化とシミュレーションの骨格は、これまでに構築できた。しかし、まだ以下のような多くの課題が残されている。

#### (a) 精度の高い世帯の効用推定

マイクロシミュレーションは、世帯選好や住宅の多様性を表現することができる手法である。しかし、その推定は容易ではない。効用関数の推定において一般的に用いられているロジットモデルは、確率項によって多様性を表現することになり、世帯属性と選好との関係における多様性を表現しにくい。そのため、効用推定において高い精度が得られず、マッチングに着目したモデルを生かし切れていない。今後、多様な選好を表現するための効用推定方法を検討する必要がある。

#### (b) 性質の異なる住宅市場のモデル化

持家市場と賃貸市場は、世帯の選択構造や各形成メカニズム等において大きな構造的な違いがある。しかし、

現在のところ、両者は同じ構造のモデル化を行っている。また、マッチングのアルゴリズムも単一である。近年では、都市部を中心に持家率の低下が見られ、ファミリー世帯の賃貸住宅へのニーズも高まっている。このような現状を説明するためには、住宅の性質の違いに応じたきめ細やかなモデル化が必要である。

#### (c)世帯、住宅供給者の中長期的選択

現在のところ、世帯や住宅供給者の選好は、短期的な視点にとどまっている。しかし、持家の購入や新たな住宅への投資には、中長期的な視点が不可欠である。したがって、各主体の中長期的な行動原理を考慮した動的なシミュレーションに拡張していくことが必要である。また、時間経過に伴う世帯の選好変化をどのように表現し、推定すべきかも重要な課題である。

## (2) 住宅市場モデルの今後の発展

上記のように、まだ多くの課題があるものの、世帯や住宅の多様性を考慮できる住宅市場モデルには多くの可能性があると考えている。例えば、従来のモデルでは、表現しにくかった空家の発生等の不均衡の状態を表現することが可能である。また、マッチングを明示的に表現していることにより、ミスマッチによる転居の発生等を表現しやすくなる。今後、さらなる高齢化や人口減少に伴う都市の縮退等が予想されている。一方、住宅ストックの老朽化に伴う建て替えも増加してくるものと考えられる。これらの社会変化を分析し、政策的な示唆を示すために、マイクロシミュレーション型の住宅市場モデルは有用であり、今後さらに進化させる必要があると考えている。

## 7. おわりに

これまでにマイクロシミュレーション型土地利用モデルにおける住宅市場のモデル化を行い、実データをもとにキャリブレートされた効用関数を用いて、シミュレーションを行った。効用関数の推定にはまだ課題が残るものの、実用化を見据え、大規模な計算にも耐えることが確かめられた。今後は、さらに改良を加え、社会変動に伴う立地の変化をきめ細かく分析できるツールを開発したいと考えている。

**謝辞：**本論文は、平成22年度科学研究費補助金（基盤研究（B））、課題番号：20360232、研究課題名：詳細属性情報を含む世帯の空間分布予測のためのマイクロシミュレーションシステム）の研究成果の一部を取りまとめたものである。ここに記して謝意を表したい。

## 参考文献

- 1) Suzuki, A., Kitazume, K. and Miyamoto, K. : A Model of Individual Transactions in a Housing Market for Land-Use Micro-Simulation, Selected Proceedings of the 12th WCTR, No.1774,2010
- 2) 鈴木温・北詰恵一・宮本和明：マイクロシミュレーション型土地利用モデルにおける世帯と住宅のマッチング, 土木計画学・講演集, Vol.40, 2009
- 3) 鈴木温・北詰恵一・宮本和明：マッチングモデルを用いた住宅市場のマイクロシミュレーション土木計画学・講演集, Vol.42, 2010
- 4) Waddell, P. : UrbanSim Modelling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning, Journal of American Planning Association, Vol.68, No.3, 297-443, 2002
- 5) Waddell, P., Borning, A., Noth, M. Freier, N. and Becke, M. : Microsimulation of Urban Development and Location Choice: Design and Implementation of UrbanSim, Networks and Spatial Economics, 3, 43-67,2003
- 6) Miller, E.J. and Salvini, P.A. : The Integrated Land Use, Transportation, Environment (ILUTE) Microsimulation Modelling System: Description & Current Status, Chapter 41 in D.Hensher (ed.) The Leading Edge in Travel Behaviour Research, selected papers from the 9th International Association for Travel Behaviour Research Conference, Gold Coast, Queensland, Australia,2001
- 7) Hunt, J. D., and J. E. Abraham.: Design and Implementation of PECAS: A Generalised System for the Allocation of Economic Production, Exchange and Consumption Quantities. In Integrated Land-Use and Transportation Models: Behavioural Foundations (M. E. H. Lee-Gosselin and S. T. Doherty, eds.), Elsevier, St. Louis, Mo.,253-274,2005
- 8) Strauch, D., Moeckel, R., Wegener, M., Gräfe, J., Mühlhans, H., Rindsfuser, G., Beckmann, K.-J. : Linking transport and land use planning: the microscopic dynamic simulation model ILUMASS. In: Atkinson, P.M., Foody, G.M., Darby, S.E., Wu, F. (Eds.): Geodynamics. Boca Raton, Florida: CRC Press, 295-311, 2005
- 9) Wagner, P., Wegener, M. : Urban land use, transport and environment models: experiences with an integrated microscopic approach. disP 170 (3/2007), 45-56., 2007
- 10) Wheaton, W.C. : Vacancy, Search, and Prices in a Housing Market Matching Model, Journal of Political Economy, vol.98, no.6, 1270-1292, 1990
- 11) Abdulkadiroğlu, A., Sönmez, T. And ünver, M.U.:Room Assignment-Rent Division: A Market Approach, Columbia University Department of Economics Discussion Paper, No.0102-11, 2002
- 12) 丹呉允, 横松宗太, 石倉智樹: 長寿命化政策が住宅市場にもたらす影響に関する研究: 住替え行動と中古住宅取引に着目したマッチングモデルによる均衡アプローチ, 土木計画学研究・講演集, vol.41, CD-ROM, 2010
- 13) Gale, D. and Shapley, L.S.: College Admissions and the Stability of Marriage, American Mathematical Monthly, January 69, 9-15, 1962

(2011.5. 受付)