

# 世帯と住宅の統合マイクロシミュレーションを用いた住宅政策評価

鈴木 温<sup>1</sup>・市川航也<sup>2</sup>・杉木 直<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 名城大学 理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒468-8502 愛知県名古屋市中白区塩釜口1-501)  
E-mail: atsuzuki@meijo-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所 (〒410-8567 静岡県沼津市下香貫外原3244-2)  
E-mail: ichikawa-k85ab@cbr.mlit.go.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社ドーコン 交通部 (〒004-8585 北海道札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1)  
E-mail: ns1491@docon.jp

人口減少や少子高齢化に伴い、今後、多くの都市では老朽家屋や空き家が急増することが予想されている。長年住み続けた老朽家屋は、その後、空き家化しやすいことや、中高年世帯が老後に備え、利便性の高い地区等へ転居を希望する傾向があることなどから、老朽家屋からの転居促進は、空き家対策、交通弱者対策、さらには、既存市街地の再生や都市のコンパクト化を図る上でも有効な施策になり得る。そこで、本研究では、住宅補助等の住宅政策が世帯の転居行動や世帯立地に与える影響をシミュレーションによって評価することを目的とする。そのために、個人情報等の観点から入手が困難な世帯と住宅の統合マイクロデータを統計的マッチングによって推定した上で、世帯の転居および住宅選択に関するマイクロシミュレーションモデルを構築する。構築したモデルを用いて、コンパクトシティ促進のための住宅補助政策を実施している富山市を対象に、政策の有効性に関する評価を行う。

**Key Words** : *statistical matching, , micro-data, micro-simulation*

## 1. はじめに

人口減少、少子高齢化が進行中の我が国の多くの都市では、集約型都市構造への転換や賢い縮退 (Smart Shrink) を実現させるため、各種の都市施策を行っている。一方でこれらの都市では今後、老朽家屋や空き家が急増することが予想されている。老朽家屋や空き家は、都市構造転換の阻害要因になっており、国や自治体では、様々な対策が取られている。長年住み続けた老朽家屋は、その後、空き家化しやすいことや、中高年世帯が老後に備え、利便性の高い地区等へ転居を希望する傾向があることなどから、老朽家屋からの転居促進は、空き家対策、交通弱者対策、さらには、既存市街地の再生や都市のコンパクト化を図る上でも有効な施策になり得る。

限られた予算の中で効率的な政策・施策を選択するためには、将来の都市構造変化などの広域的・中長期的観点とともに、個々の世帯や個人の生活の質やその変化にも配慮しつつ都市施策の効果や影響を定量的に予測し、それらの結果をもとに望ましい都市政策・施策を選択していくことが有効である。欧米を中心に、

政策の有効性を評価するため、様々な都市モデルが開発され、計画実務で活用されている。中でも、個々の主体の多様な属性や細かい土地区画を考慮したマイクロシミュレーションタイプのモデルが近年盛んに開発されている<sup>1)</sup>。これらのモデルは住宅の老朽化、空き家の発生等のミクロな問題と都市のコンパクト化や良質な住環境形成などの広域的・中長期的な視点を合わせた予測や分析に有効であると考えられる。

従来のマイクロシミュレーション型都市モデル<sup>2),3),4),5)</sup>は、世帯と住宅 (または土地区画) の一方がマイクロデータであるのに対し、他方が集計的に扱われているなど、世帯属性と住宅属性の相互関係を十分表現できていないという問題点がある。その一つの理由として、世帯属性に関するマイクロデータと位置情報を持つ住宅または土地に関するマイクロデータのクロス情報は、個人情報保護の観点から、一般には公開されないことが多いことが挙げられる。

また、マイクロデータをもとにしたモデルは計算量が膨大になるため、数10万~100万人規模の都市全体を対象とする大規模なシミュレーションの開発例はほとんど見られない。

そこで、筆者らは、これまで数10万規模の都市を対象とした世帯と住宅の統合マイクロデータの生成を提案<sup>6),7),8),9)</sup>するとともに、世帯の住宅選択をモデル化したマイクロシミュレーションを開発してきた<sup>10),11),12),13)</sup>。本研究では、これまでに開発してきたシミュレーションモデルを、コンパクトシティ政策を積極的に実施している富山市を対象として適用し、住宅補助等の住宅政策が世帯の転居行動や世帯立地に与える影響を評価することを目的とする。そこで、まず、個人情報等の観点から入手が困難な世帯と住宅の統合マイクロデータを統計的マッチングによって推定する。推定された世帯と住宅の統合マイクロデータは、世帯の住宅選択モデルの初期データとして活用する。その後、構築したシミュレーションモデルに推定された初期マイクロデータを入力することによって、コンパクトシティ促進のための住宅補助政策の評価を行う。

## 2. 世帯と住宅の統合マイクロデータの生成

### (1) 世帯属性に関する一次データ

世帯に関するマイクロデータは国勢調査や住民基本台帳など、国や自治体によって管理されているデータが存在する。しかし、これらの個票データは、一般に入手することが困難であるばかりでなく、個人情報保護の観点からも情報が流出することは望ましくない。そこで、入手可能な国勢調査の集計データや独自のアンケート調査等によって得られた世帯のサンプルデータから、世帯のマイクロデータを推定する方法が研究されてきた。杉木ら<sup>9),7),8)</sup>は、マイクロシミュレーションの基準年におけるマイクロデータ生成を目的として、エージェントベースの世帯属性推定手法を提案している。世帯マイクロデータの推定を行うため、本研究でも杉木らの手法を採用するものとする。

本研究では、上記の初期世帯マイクロデータ推定手法を用い、富山市を対象として、世帯マイクロデータを作成する。

推定に用いるサンプルデータは、平成23年12月に対象地域において実施したアンケート調査の結果を用いた。本調査は、富山市および周辺一部地区に居住する140,734世帯よりの無作為に10%抽出した14,073世帯を対象に郵送送付、郵送回収で行ったものであり、有効回答として3,864世帯、9,747人分のマイクロ世帯データサンプルが得られている。

世帯属性に関する周辺分布データとして、各ゾーンの人員別世帯数および性別年齢階層別人口が必要である。これらの周辺分布データは、平成22年国勢調査小

地域データを利用した。

### (2) 世帯マイクロデータの推定方法

初期マイクロデータの推定手法の基本的な考え方は以下の通りである。

- ・世帯人数別の世帯数に対して、世帯サンプルより各世帯の構成員の性別、続柄を決定する。
- ・十分なサンプルが得られる世帯タイプに対しては、各世帯構成員の年齢間の相関性を考慮して年齢を決定し、出現頻度の低い世帯タイプについては世帯サンプルと同様の年齢を与える。
- ・人口データ推計においては、周辺分布（性別5歳年齢階層別人口）に一致するように世帯構成および各世帯構成員の年齢に関して調整を行う。
- ・推定、データ生成、調整はすべてモンテカルロ法等を用いて確率的に行う。

上記のような方法によって、世帯マイクロデータは、国勢調査の中ゾーン単位で推計される。

### (3) 住宅に関する一次データ

住宅に関するマイクロデータは、以前は登記簿の閲覧以外に、一般に入手できる情報はほとんどなかった。しかし、近年では、国や民間企業によって空間情報の整備が進められ、一般にもさまざまな住宅のデータが販売、提供されている。住宅の築年数やタイプなどの属性情報の内容やフォーマットは、データによって異なっているため、各々のデータの長所を生かし、属性情報を補完することによって、より正確な住宅マイクロデータの生成を行う。住宅属性の1次データとして、都市計画基礎調査の建物データと株式会社ゼンリンの住宅ポイントデータ<sup>14)</sup>を用いる。生成の対象とする住宅属性は、位置情報、住宅タイプ、床面積、階数、築年数、部屋数とする。それぞれのデータの詳細とデータ例を表-1に示す。

表-1 住宅に関する一次データの特性

	都市計画基礎調査	住宅ポイントデータ	
整備年	2005年	2012年	
整備者	富山市	株式会社 ゼンリン	
対象	全建物	住宅	
総データ数	245,348件	124,503件	
データタイプ	面	点	
整備属性	位置情報	○	
	住宅タイプ	○ (全27タイプ)	○ (全9タイプ)
	床面積	○ (※)	○ (※)
	階数	○ (一部なし)	集合住宅のみ
	築年数	○ (一部地域なし)	×
部屋数	×	○	

#### (4) 住宅マイクロデータの推定方法

都市計画基礎調査と住宅ポイントデータは、ともに位置情報（建物中心点の座標情報）と住宅タイプの情報は整備されている。両データとも床面積は整備されていないので、建物面積と階数の情報から床面積を推計する。都市計画基礎調査は一部の住宅を除いて階数データが整備されている。住宅ポイントデータは集合住宅のみ階数についての情報が整備されているが、戸建住宅は一律2階と仮定されている。本研究では、両データで階数が整備されている住宅については、都市計画基礎調査の情報を用い、都市計画基礎調査において情報が不明の住宅については、ポイントデータによって補完した。築年数と部屋数については、すべての住宅にデータが付与されているわけではないので、判明している情報から不明な情報を推定する。築年数については、情報がある住宅から周辺分布を作成し、モンテカルロシミュレーションによって数値の割り当てを行った。また、割り当てられた数値に対し地域特性の重み付けを行った。部屋数に関しては、床面積毎の平均部屋数の分布から近似曲線を作成し、情報が不明の住宅に対して属性値の割り当てを行った。

#### (5) 世帯と住宅の統合マイクロデータの推定方法

本研究では、シミュレーションを行う初期データベースを生成するため、世帯のマイクロデータと住宅のマイクロデータから、世帯と住宅の統合マイクロデータ、すなわち、各世帯が現在居住している住宅に関するマイクロデータを既存研究<sup>9)</sup>に従い推定する。この推定手法は、複数の調査から得られたマイクロデータを共通または類似の属性情報に着目することによってリンクさせ、一つの統合マイクロデータを生成する統計的マッチング<sup>15),16),17),18)</sup>という方法に着目する。

統計的マッチングとは、A調査の個別データ(Y)とB調査の個別データ(Z)を照合し、類似した属性や近い特性値を擬似的な同一個体として個体同士をリンクすることで(Y, Z)を同時に含むデータセットを生成する手法である。データの類似度の測り方やリンクのさせ方によって、マッチングの方法は様々である。本研究で対象とするデータセットは、前述の世帯マイクロデータと住宅マイクロデータである。世帯マイクロデータの属性は、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、世帯主との続柄の情報を保持している。一方、住宅マイクロデータの属性は、位置情報、住宅タイプ、床面積、階数、築年数、部屋数である。両データには、リンクさせる基準となる共通もしくは類似する属性（マッチング変数）

は含まれていない。そこで、平成23年度に筆者らが富山市を対象に実施した「居住と交通に関するアンケート調査」や、国勢調査などから得られる補完情報とともに、世帯と住宅の各マイクロデータにマッチング変数として代替できる情報を付加することによって、データ間の距離の算出し、統合マイクロデータを生成する。なお、統計的マッチングの標準的なデータ統合手法は、無制約距離最少化法を用いる。

また、世帯と住宅のマイクロデータのデータ数は、約150,000~200,000と膨大であるため、すべての世帯とすべての住宅の割り当てパターンの距離計算をするには、200,000の階乗通りという天文学的な計算量が必要である。このように、総当たり計算が不可能な膨大な計算は、計算アルゴリズムを工夫することによって、計算を簡略化し、近似解を求める必要である。本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いて計算の簡略化を行う。

#### (6) 統合マイクロデータの推計方法

本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いて世帯と住宅のマイクロデータの生成を行う。前述のように、世帯マイクロデータは、国勢調査統計区中ゾーン別に推定される。しかし、後述する世帯と住宅のマッチング精度を高めるため、中ゾーン別に推定された世帯マイクロデータを小地域別に割り当て、その後、世帯マイクロデータをその小地域に含まれる住宅に割り当てるという二段階の手順で統合マイクロデータの生成を行う。このような二段階の割り当てを行うことにより、膨大なデータの組み合わせを効率的に絞り込むことができ、精度が高まることが期待される。

#### (7) 小地域への世帯マイクロデータ割り当て

本研究では、統合マイクロデータの生成過程の第1段階として、中ゾーン別に推定された世帯マイクロデータを小地域別に分割する。以下に、第1段階で行われる遺伝的アルゴリズムの手順は以下のとおりである。初期集団の生成

第1段階では、初期集団として中ゾーンの世帯数分の遺伝子群から構成される染色体を500個生成した。遺伝子は、世帯主年齢、世帯人数、世帯の平均年齢を情報として持っている一世帯として表現する。最初に遺伝子に割り当てる世帯は、ランダムに決める。どの小地域へ割り当てられるかは、染色体を小地域の世帯数ごとに区切ることで表現している。染色体をこのような表現をすることにより、世帯の小地域への割り当てパターンを表現した。

#### 適合度の評価

第1段階では、染色体の適合度を小地域zに割り当て

られた世帯  $s$  の属性値と小地域  $z$  における世帯属性の平均値との差の 2 乗和と定義し、(1)式に示すように適合度が最小になる染色体を探索するものとする。なお、小地域  $z$  における世帯属性は、H22 年度国勢調査のデータを用い、平均年齢と平均世帯人数を採用とした。

$$\min \sum_s D_{s,z} = \sum_s \sum_i \left( \frac{\bar{x}_{zi} - x_{si}}{\bar{x}_{zi}} \right)^2 \quad (1)$$

ここで、 $D_{s,z}$  は小地域  $z$  に割り当てられた世帯  $s$  と小地域平均値との乖離量距離、 $\bar{x}_{zi}$  は小地域  $z$  における世帯属性  $i$  の平均値、 $x_{si}$  は世帯  $s$  の世帯属性  $i$  の値である。

### 自然淘汰 (選択)

第 1 段階の自然淘汰手法として、トーナメント選択を適用した。10 個の染色体でトーナメント戦を行い、優勝した染色体を次世代に遺伝子を残す片方の親とする。トーナメントの組み合わせはランダムに行う。

### 交叉

交叉方法は、今日までの研究の蓄積によってさまざまな手法が提案されている。本研究では、交叉において遺伝子の順序を考慮できる 2 点順序交叉を適用した。図-1 に、本研究における 2 点順序交叉の操作手順概念図を示す。2 点順序交叉では、まず、交叉を行う 2 点 (交叉区間) をランダムに設定する。次に子の染色体に、適合度が高い親の区間内の遺伝子を次世代の子の染色体にそのままコピーする。最後に、遺伝子を受け継いでいない親から、未継承の遺伝子型の順序を変えずに受け継ぐ。このような交叉を行うことで、同一世帯が 2 つ以上の遺伝子に配置されるという実際には存在し得ない致死遺伝子 (lethal gene) の発生を回避した。

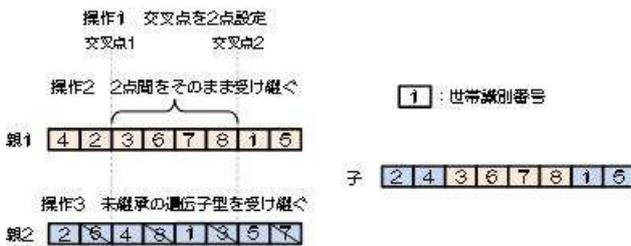


図-1 2点順序交叉の操作手順概念図

### 突然変異

本研究では、計算効率を高めるため、一定の発生確率で生成された次世代の遺伝子に対して、20 個の遺伝子がランダムに入れ替わる突然変異の操作を行った。

### エリート染色体の保存

本研究で提案するマッチング手法では、染色体群内で最も適合度の高い染色体を確実に次世代に継承させるため、エリート染色体を次世代にそのままコピーするエリート選択を適用している。なお、コピーされた

エリート染色体に対し、突然変異の操作は行わないものとする。

### 終了条件

第1段階のGAの終了条件は、5,000回の繰返し (5,000 世代) 計算を行った時点で終了する。

### (8) 世帯と住宅マイクロデータの統合

第 2 段階、すなわち、小地域に割り当てられた世帯を個々の住宅に割り当てる段階においても遺伝的アルゴリズムによって計算の簡略化を行う。以下でそのアルゴリズムを説明する。

### 初期集団の生成

第 3 段階では、初期集団として計算対象小地域に含まれる住宅数分の遺伝子群から構成される染色体を 200 個生成した。遺伝子は、位置情報、床面積、築年数に関する属性情報を持つ一戸の住宅として表現した。一個の遺伝子に割り当てる住宅は、第 1 段階と同様、ランダムに割り当てた。対象小地域の世帯数を越える順番の遺伝子に割り当てられた住宅は、世帯が割り当てられない空き家として表現している。

### 適合度の評価

第 2 段階では、染色体の適合度は、式(2)に示すように定義する。(2)式は、住宅属性  $j$  を持つ住宅  $h$  に割り当てられた世帯  $s$  の属性  $i$  の値とその住宅が含まれる小地域における世帯属性  $i$  の平均値の差の二乗和と世帯属性  $i$  を持つ世帯  $s$  が割り当てられた住宅  $h$  の住宅属性  $j$  の値とその住宅が含まれる小地域  $z$  における住宅属性  $j$  の平均値の差の二乗和の合計で算出されるデータ間乖離量距離の和を表している。第 2 段階のアルゴリズムでは、この適合度が最小になる染色体を探索する。なお、小地域  $z$  における住宅属性別世帯属性の平均値は、H22 年度国勢調査のデータから得られ、建物面積別平均世帯人数を採用とした。また、小地域  $z$  における世帯属性別住宅属性は、前述の「居住と交通に関するアンケート調査」のデータから世帯主年齢別平均建物面積と世帯主年齢別平均築年数の推定値を採用した。

$$\min \sum_s D_{sh} = \sum_s \left[ \sum_i \left( \frac{\bar{x}_{y_{hj},i} - x_{si}}{\bar{x}_{y_{hj},i}} \right)^2 + \sum_j \left( \frac{\bar{y}_{x_{si},j} - y_{hj}}{\bar{y}_{x_{si},j}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

ここで、 $D_{sh}$  は住宅  $h$  に割り当てられた世帯  $s$  と小地域平均値との乖離量距離、 $\bar{x}_{y_{hj},i}$  は住宅属性  $j$  を持つ住宅  $h$  に割り当てられた世帯  $s$  の属性  $i$  の住宅  $h$  を含む小地域における平均値、 $x_{si}$  は住宅属性  $j$  を持つ住宅  $h$  に割り当てられた世帯  $s$  の属性  $i$  の値、 $\bar{y}_{x_{si},j}$  は、世帯属性  $i$  を持つ世帯  $s$  が割り当てられた住宅が含まれる小地域  $z$  にお

ける住宅属性  $j$  の平均値,  $y_{sj}$  は世帯  $s$  が割り当てられた住宅  $h$  の住宅属性  $j$  の値である。

#### 自然淘汰 (選択)

第 2 段階の自然淘汰手法として, トーナメント選択を適用した。16 個の染色体でトーナメント戦を行い, 優勝した染色体を次世代に遺伝子を残す片方の親として選択する。トーナメントの組み合わせはランダムに行う。以降, 交叉, 突然変異, エリート染色体の保存, 終了条件については, 第 1 段階と同様の操作を行うため省略する。

### 3. 住宅選択シミュレーションシステムの構造

#### (1) シミュレーションモデルの基本構造

既存の都市モデルにおける世帯の立地選択は世帯と立地先の相関関係が十分に表現できてなかった。筆者らは, 既存の都市モデルに残されている課題を解決するため, マイクロシミュレーション型の住宅選択モデルの開発を行ってきた<sup>10-13)</sup>。本研究では, これまでに開発してきたモデルのフレームを用いながら, 世帯の住み替えの発生や住宅供給者の価格調整, 世帯と住宅属性の経年的変化等を考慮したエージェントベースの動的な住宅市場・世帯立地シミュレーションシステムの構築も行う。図-2 にシミュレーションシステムの動的な遷移関係の概念図を示す。

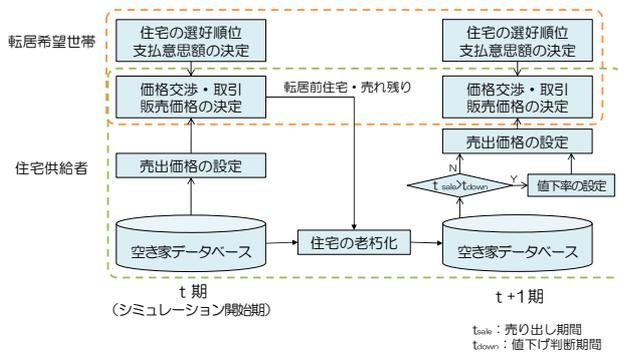


図-2 シミュレーションの動的な遷移関係

#### (2) 住宅選択シミュレーションの開発環境

これまで述べてきた住宅市場シミュレーションシステムの構築を Netlogo v.5.0.4<sup>19)</sup> を用いて行った。Netlogo<sup>19)</sup> はエージェントベースシミュレーションに関するフリーの統合開発ソフトであり, エージェントの属性を考慮した行動原理を表現することが可能である。本研究では, 世帯の立地選択シミュレーションは戸建住宅から戸建住宅へ転居する世帯の住宅選択行動のみを対象として行った。

#### (3) 世帯と住宅の設定

本モデルでは, 世帯と住宅 (供給者) をエージェントとし, 住宅市場は世帯エージェント集合と住宅エージェント集合によって構成されるものとする。

世帯は世帯タイプごとにパラメータの異なる効用関数を持ち, 効用最大化行動を行っていると考ええる。またエージェントは, 属性情報を持っている。属性に応じた行動原理を定式化するエージェントベースのシミュレーションにおいては, 属性の設定は重要である。本研究では, 現実の住宅選択に影響していると考えられる世帯主年齢, 世帯人数, 子供の有無を世帯属性として設定し, 住宅価格, 建物面積, 築年数, 駅までの距離を住宅属性として設定した。また, エージェントの属性は経年的に変化するものとする。本研究では, 世帯主年齢, 築年数を変化させ, 世帯主の高齢化による選好の変化, 住宅の老朽化による世帯の住宅に対する効用の減少を考慮した。

本研究では, 住宅選択モデルにおいて世帯の実際の住宅購入行動に近い選好を表現するため, 前述の「居住と交通に関するアンケート調査」で得られたアンケートデータをもとに, 選択型コンジョイントを用いて効用の推定を行った<sup>12), 13)</sup>。パラメータ推定は世帯の選好の多様性を表現するため世帯主年齢と世帯人数によって分類された世帯タイプ毎に行った。

住宅の売り出し価格は, ヘドニック回帰法を行い, 住宅相場に基づいた売り出し価格を設定した。住宅価格の推定式は不動産サイトの分譲戸建住宅データを 200 件収集し, 推定を行った。

#### (4) 世帯と住宅の位置情報

世帯と住宅の位置情報は属性情報と同様, 外部ファイルから読み込むことでモデル中に反映される。世帯と住宅の初期マッチング情報は, 第 3 章で記述した手法により生成した世帯と住宅の統合マイクロデータを用いる。また, 世帯が住んでいる住宅とは別に空き家の住宅も初期データとして設定する。Netlogo には簡易的な GIS の拡張機能を有するので, 都市のゾーンデータは shape 形式のファイルから読み込むことでシステム上に反映される。したがって, 駅や病院などの公共施設の位置情報も国土数値情報等の施設データを利用し, それらの立地関係を考慮したシミュレーションを行うことが可能である。

#### (5) 世帯の転居の発生

本シミュレーションでは, 時間単位ごとに世帯の一部に転居が発生するものとする。実際の市場における世帯の転居イベントの発生は世帯主の年齢や業種等の

世帯属性やライフステージに依存することが考えられ、世帯属性を考慮した住み替えの発生モデルが必要であるが、本研究では、初期条件として世帯タイプごとに転居発生率を与え、世帯属性別の転居発生率の違いを考慮したが、転居発生モデルを別途組み込むことも可能である。

#### (6) 転居世帯と住宅のマッチングおよび価格決定

本シミュレーションにおける住宅市場モデルは、世帯の選好と住宅の多様性を考慮した割当と価格決定を行うため、マッチング理論とオークションの概念を住宅市場に応用し、モデル化を行った。以下に、住宅市場で行われるアルゴリズムの計算手順を示す。

#### STEP 1

住宅供給者は、売り出す住宅の売り出し価格 (offer price) を設定する。世帯は売りに出されている住宅に対し、効用が高い順に順位づけを行い、最も選好順位の高い住宅に入居希望を出す。また、世帯は希望を出した住宅に対して付け値 (bid price) を提示する。各世帯の持つ住宅に対する選好と付け値は、世帯タイプごとに推定される効用関数と限界支払意思額から導出される。世帯  $i$  の住宅  $h$  に対する限界支払意思額は、選択型コンジョイントで得られたパラメータの比から求めることができる<sup>12,13)</sup>。世帯の住宅に対する支払意思額は、限界支払意思額と各住宅属性の変数の積となる。

#### STEP 2

すべての住宅供給者は、設定した購入を希望している世帯の中で最も高い付け値を提示した世帯と契約を結ぶ。ここで、許容販売価格より高い付け値を提示する世帯が存在しない場合、契約を結ばない。

#### STEP 3

価格競争に敗れた世帯は、まだ購入可能な住宅の中から最も好ましい住宅に応募。もし購入可能な住宅が無ければ、今期の転居を取りやめる。

#### STEP 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。

既存研究<sup>10,11)</sup>では、住宅供給者は最も高い額を提示した世帯との契約を一時保留するといった非現実的な過程が含まれていた。本研究では、そのような過程を省き、さらに、これ以下の価格では住宅を売らないといった売り出し価格の設定過程を設け、許容価格の下でのエージェント間の価格競争メカニズムを表現する。

本シミュレーションの住宅市場の価格決定は、世帯の持つ付け値と各住宅供給者が提示する売り出し価格によって、住宅ごとに決定される。また、最終的な住宅の販売価格は、世帯が提示した付け値とした。

#### (7) 住宅供給者の価格調整

実際の住宅市場では住宅供給者は売り出す住宅の価格を設定する際に、住宅の立地環境、魅力度、建築費用等や経済状況などを考慮して価格を設定すると考えられる。売り出した住宅が売れない場合には価格を下げることも考えられる。本シミュレーションの住宅供給者は、実際の住宅供給者の行動原理に倣い、住宅を売り出す際に市況に応じた価格を設定し、一定期間売れない場合には価格を下げるという価格調整を行う。

#### (8) 世帯の住宅に対する効用の更新

時間の経過に応じて、世帯の住宅に対する効用は更新される。効用の更新は、住宅供給者の価格調整、住宅の老朽化、世帯属性の変化により行われる。本シミュレーションでは、1日単位で時間が更新されるので、マッチングと住宅供給者の価格調整、世帯の選好の更新を毎日繰り返すことで世帯立地の動的な変化のシミュレーションが行われる。

#### (9) シミュレーションの出力結果

本モデルは、世帯が住んでいる住宅や空き家の分布を動的なシミュレートし、視覚的な情報として地図上に出力する。各期の住宅価格の動的な変化や世帯タイプごとの居住住宅の平均住宅価格や平均床面積等の遷移が時系列のグラフとして出力される。各出力結果は CSV ファイルとしても出力可能である。

### 4. 世帯と住宅の統合マイクロデータの生成結果

#### (1) 世帯マイクロデータの生成結果

2章で述べた手法を用いて平成 22 年時点の富山市の 158,078 世帯、人口 421,953 人のマイクロデータの推計を行った。国勢調査の中ゾーン別の世帯数を周辺分布として、世帯マイクロデータの推計を行なった。その結果、相関係数が 0.99 以上と良好な推定結果が得られた。

#### (2) 中ゾーンから小地域への割当結果 (第 1 段階)

遺伝的アルゴリズムの繰り返し計算階数を 5000 回、突然変異発生確率を 30% として第一段階の割り当て計算を行った。例として図 4 に、ある中ゾーンを対象に 5000 回の繰り返し計算を行った際の、染色体集合の平均的適合度と、エリート染色体の適合度の遷移を示す。

世代の最小適合度は、計算を繰り返すごとに小さくなっていき、およそ 3000 回付近でほぼ収束していることがわかる。他の中ゾーンでも同様の傾向が見られ、第 1 段階では、5000 回計算を終えた時点でのエリート染色体を小地域へ世帯を割り当てパターンとしている。

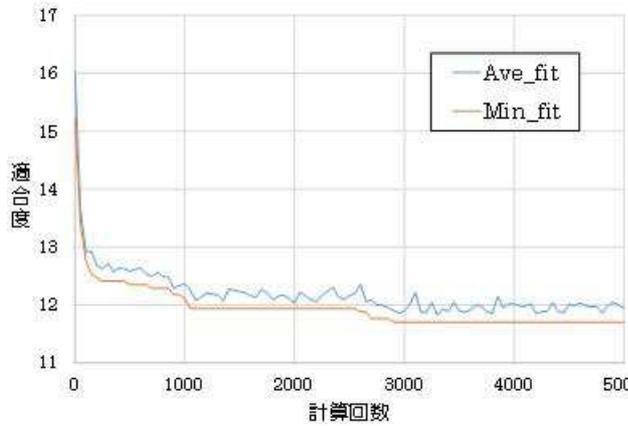


図-3 適合度の遷移 (第1段階)

第 1 段階の割当結果は CSV ファイルとして出力され、第 2 段階の計算で入力データとして用いられる。富山市内の 82 中ゾーンの計算に要した時間は、10,800 秒であった。図-4 から図-7 に横軸に推定されたマイクロデータの小地域別の世帯属性の集計値 (人口, 平均年齢, 単身世帯数, 世帯員が 5 人の世帯数), 縦軸に国勢調査の小地域の集計値をとり、富山市内の小地域 1,456 地域をプロットした散布図を示す。相関係数は、0.864 から 0.978 と高い相関性を示しており、国勢調査の小地域集計に近い世帯を分割することができたといえる。しかし、世帯人数が多くなるにつれて、相関性が低くなっている点については、改善が必要である。

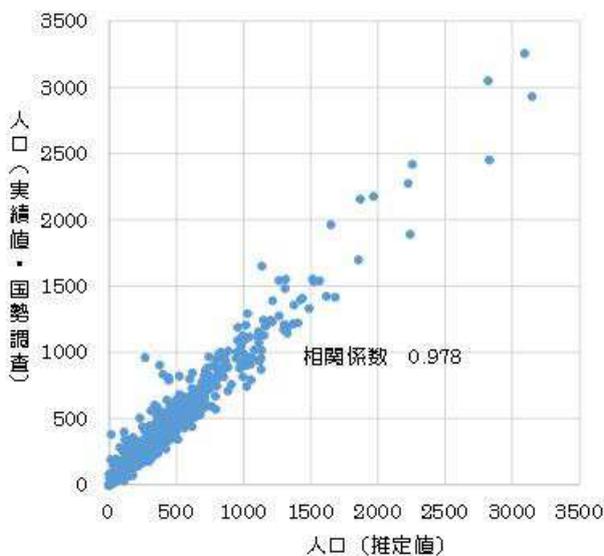


図-4 小地域別比較 (人口)

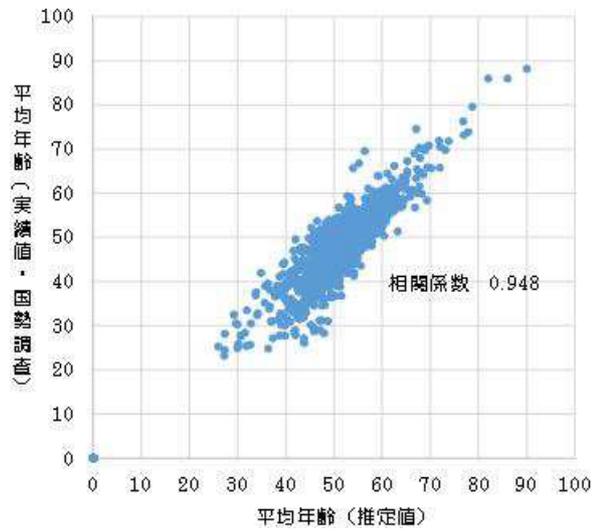


図-5 小地域別比較 (平均年齢)

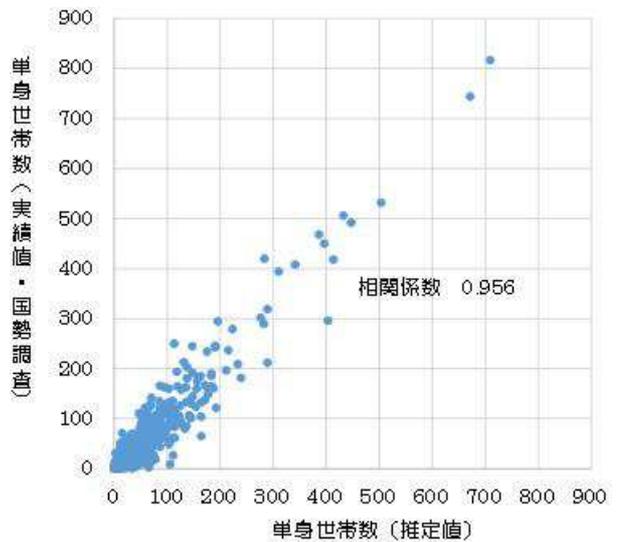


図-6 小地域別比較 (単身世帯数)

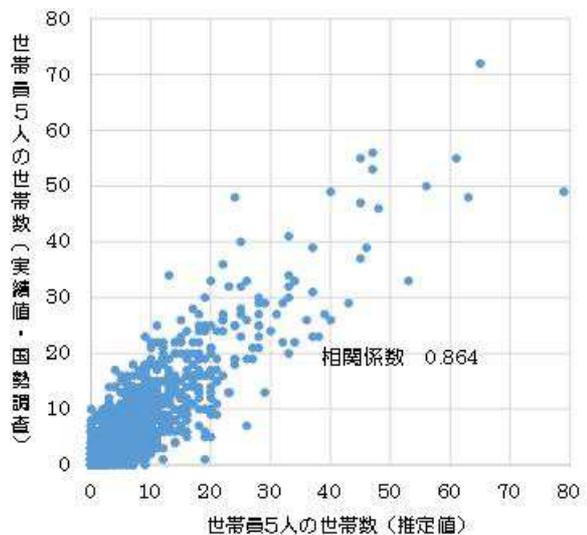


図-7 小地域別比較 (5人世帯数)

#### (4) 小地域から住宅への割当結果 (第2段階)

第2段階では、繰返し計算階数を5000回、突然変異発生確率を10%として計算を行った。例として、ある小地域の割当を行った場合の、5000回計算を行うまでの染色体集合の平均的適合度と、エリート染色体の適合度の遷移を図-8に示す。世代の最小適合度は、計算を繰り返すごとに小さくなっていき、およそ2000回を越えたあたりで収束していることがわかる。集合の平均適合度は、計算ごとに大きく上下している。これは、さまざまな住宅と世帯の組み合わせが生成されているためであり、これによって、多くの組み合わせパターンが計算が行われていることが考えられる。このようなことは、他の中ゾーンでも見られた現象であり、計算回数は、第1段階と同様、5000回でほぼ収束することがわかる。第2段階では、5000回計算を終えた時点での、エリート染色体を住宅に割り当てる世帯のパターンとする。本研究で構築したプログラムは、ひとつの小地域の割当計算を終えると、次の小ゾーンの計算が自動的に開始され、中ゾーンのすべての小ゾーンの割当計算を終えると、次の中ゾーンの計算を開始するように設計している。割当結果はCSVファイルとして出力され、世帯立地シミュレーションシステムの入力データとして用いられる。富山市内の82中ゾーン、1456小地域の計算に要した時間は、およそ72,000秒であった。

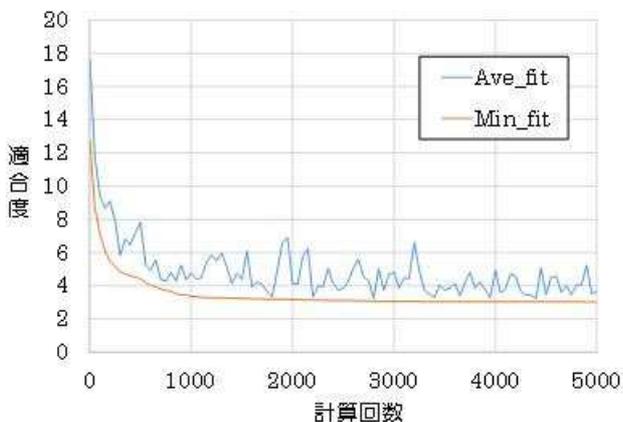


図-8 適合度の遷移 (第2段階)

#### (5) 初期マイクロデータのマッチング結果

図-9、図-10は生成された富山地域の統合マイクロデータを地図上にプロットしたものである。図-9は世帯員の平均年齢によって色分けを行い、高齢の世帯主ほど暖色、若い世帯ほど寒色となっている。図-10は世帯人数を示しており、世帯人数が多い世帯は暖色、世帯人数が少ない世帯ほど寒色となっている。富山駅北部、南西部から南東部にかけて世帯は多く分

布していることが見ることができる。年齢の傾向を見ると、南西部に若い世帯が多く分布している。一方、富山駅周辺には、比較的高齢の世帯が多く分布している。世帯人数については、富山駅周辺は世帯人数が比較的少ない世帯が多く分布しており、特に、駅南西部に世帯人数が少ない世帯が多く分布していることが確認できる。これらは実際の傾向と一致している。

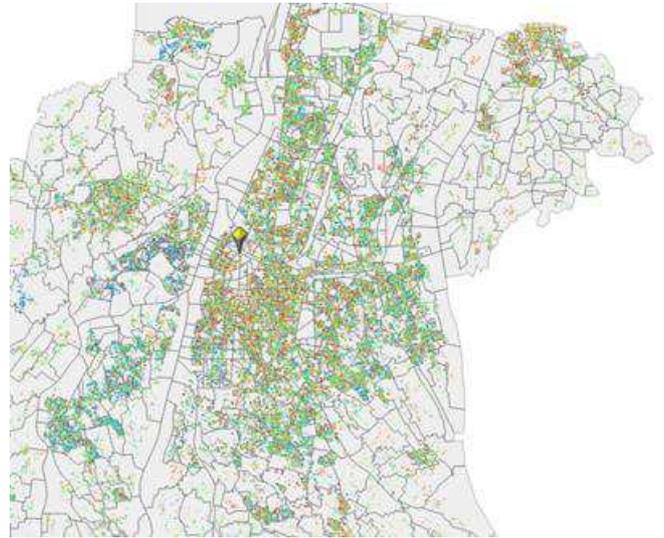


図-9 富山地域の推定世帯分布 (世帯員平均年齢)

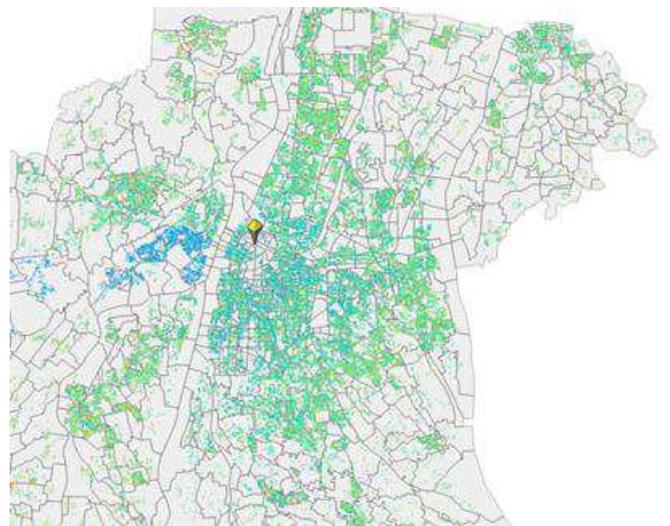


図-10 富山地域の推定世帯分布 (世帯主年齢)

## 5. 高齢化に伴う立地変化のシミュレーション

### (1) モデルの適用対象

前節で生成した世帯と住宅の統合マイクロデータを初期データとして、第3章で説明した住宅選択シミュレーションモデルを富山市を対象として適用した。本研究では、国勢調査の中ゾーンである豊田地区、広田地区、奥田地区、奥田北地区を対象に転居行動シミュ

レーションを行った。世帯と住宅のそれぞれのデータ数は、世帯データ 11,713 世帯、住宅データ 13,328 軒である。なお、住宅データには、世帯が住んでいる住宅に加え、空き家が 1,615 軒含まれている。

## (2) 初期条件設定

初期データは、シミュレーション開始期におけるエージェントとして読み込まれる。本研究では、シミュレーションの期間を 10 年間とし、1 日単位で情報を更新する。世帯の転居発生は世帯属性やライフステージによって発生率は異なることが考えられるが、本研究では初期条件として世帯タイプ毎に転居発生率を与えた。また、住宅供給者が住宅を新たに売り出す際の住宅の値上げ率、住宅が売れない場合の値下げ率については、可変の値を設定できるシステムとなっているが、本研究においては、初期条件は住宅の値上げ率 2%、値下げ率 1%/月、転居希望世帯発生割合 1%/日とした。なお、これらの条件は、実際の観測データを考慮し、精緻化する必要がある。

## (3) 出力結果

前節で述べた初期条件の下、シミュレーションを行った結果、計算が終わるまでにかかった時間は 30 分程度となった。本研究では世帯は世帯主年齢、世帯人数、子供の有無によってタイプ分けを行ったが、世帯主年齢が若年層(20-30 歳代)の世帯は青色系、中年層(40-50 歳代)の世帯は緑色系、高齢層(60 歳以上)の世帯は赤色系、世帯人数については色の濃淡による色分けをして表示した。図-11 に現在の分布、図-12 にモデルを用いて 10 年間のシミュレーションを行った結果を示す。

10 年間の世帯立地シミュレーションを行った結果、さらに高齢世帯が増加することがわかる。また、10 年後には、若い世帯は郊外に居住していることが分かる。現在売りに出されている住宅(図-11 上中央部)は 10 年後には世帯が居住していることが確認できた。

図-13 はシミュレーション期間毎の各世帯タイプが居住している住宅の最寄り駅までの距離の平均値である。図から、高齢世帯は最寄り駅までの時間が短い住宅に転居していることがわかる。図-14 は、駅までの時間別に空き家率を比較した図である。図から、10 年後の空き家率は、駅から離れた場所ほど大きくなり、駅から遠い住宅ほど多く値下げされていることがわかる。すなわち、高齢化によって、高齢世帯に人気の駅に近い住宅の需要が増しているのに対し、駅から遠い住宅の需要が減ったためであると考えられる。以上のように、本モデルでは、世帯属性の経年変化が住宅市場に与える影響を表現できることが確認できた。

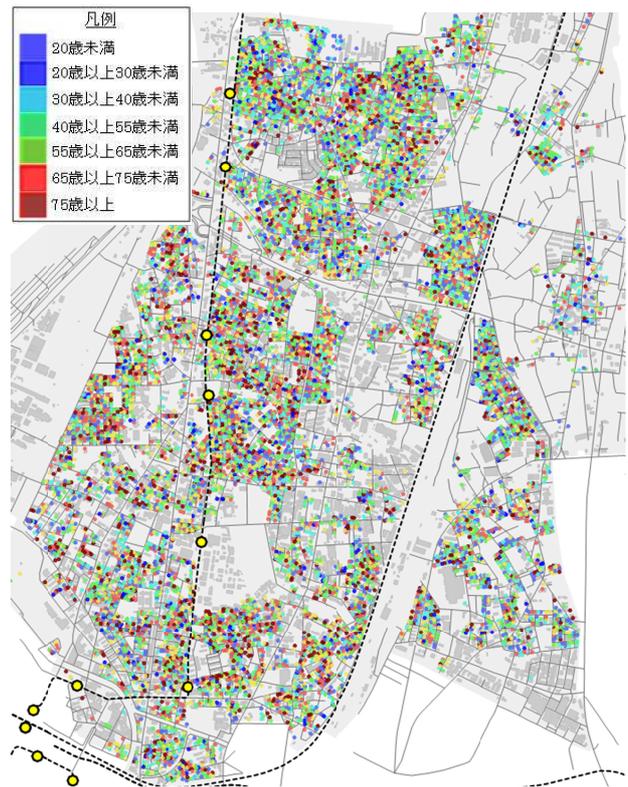


図-11 現在の世帯分布

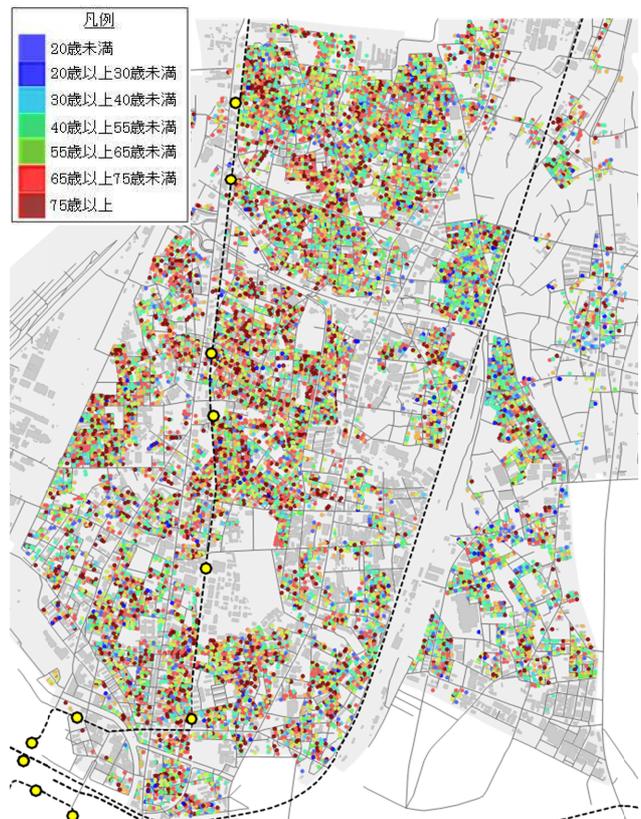


図-12 10年後の世帯分布

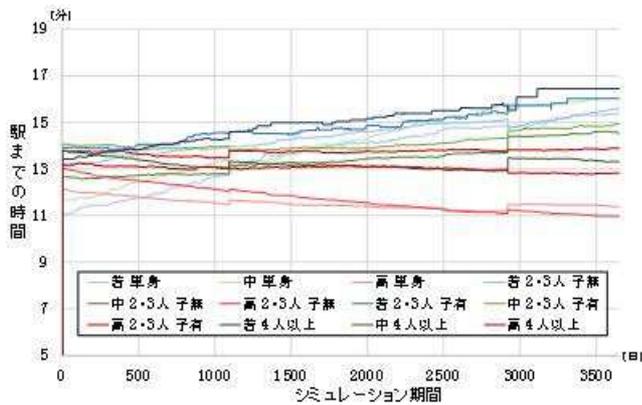


図-13 世帯タイプ別最寄り駅までの時間の遷移

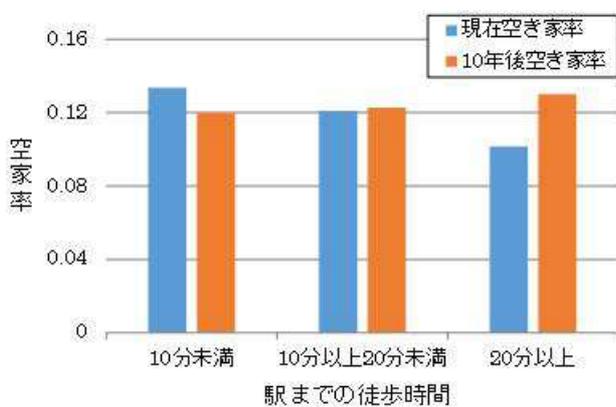


図-14 距離帯別の空き家率

住宅補助などの住宅政策の効果や影響に関するシミュレーション結果については、発表時に示す。

## 6. おわりに

本研究では、富山県富山市を対象に、住宅補助等の住宅政策が世帯の転居行動や世帯立地に与える影響をシミュレーションによって評価することを目的として、シミュレーションの初期データである世帯と住宅の統合データの生成とマイクロシミュレーション型住宅選択モデルを用いた動的な世帯立地シミュレーションを行った。その結果、世帯のマイクロデータについては、国勢調査の小地域毎の観測値と高い相関をもった割当を行うことができた。また、世帯立地に関するシミュレーションについては、世帯属性の変化や住宅の老朽化を考慮した動的な転居および住宅選択をシミュレートすることができ、住宅価格の変化も予測することができた。これらのシミュレーション結果から、高齢化に伴い、今後、公共交通機関の利便性の高いエリアへの転居が進み、郊外部での空き家が増加することが示唆された。住宅補助等の住宅政策の効果については発

表時に詳しく示す。今後の方向性について、以下の2つの点が挙げられる。

### 1) 遺伝的アルゴリズムの改良

本研究では、世帯と住宅をマッチングさせる際の距離関数として、どの地域も一律のものを扱っていた。しかしながら、実際には地域によって世帯と住宅の関係は異なるため、地域差を考慮した距離関数を用いる必要がある。また、本研究の統合データの生成手法は、二段階に分けて行い、各段階は、完全に分離した計算を行っている。今後は、前段階の計算結果を考慮した計算手法へ改良する必要がある。

### 2) 世帯の立地行動や住宅市場モデル精緻化

本研究では、戸建住宅を転居先として選択する世帯のみを対象とした住宅選択シミュレーションを行っているため、集合住宅を選択した場合の住宅選択などの行動についてもモデル化を行う必要がある。また、借家と持家の選択行動の違いなども明示的にモデル化する必要がある。さらには、住宅市場だけでなく、土地市場についても考慮する必要がある。今後、これらの課題を解決し、さらに現実的で実用的なシミュレーションモデルの開発を行い、実用化につなげてゆきたい。

謝辞：本論文は、平成 23～25 年度科学研究費補助金（基盤研究 (B)、課題番号：23360228、研究課題名：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）の研究成果の一部を取りまとめたものである。

## 参考文献

- 1) 鈴木温：北米における都市モデルの利活用の最新動向と我が国への示唆、第46回土木計画学研究発表会論文集、CD-ROM, 2013.
- 2) Waddell, P.: UrbanSim Modelling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning, Journal of American Planning Association, Vol.68, No.3, pp.297-443, 2002.
- 3) Salvini, Paul and Eric Miller: ILUTE: An Operational Prototype of a Comprehensive Microsimulation Model of Urban Systems, Networks and Spatial Economics, Vol. 5, No. 2, 217-234, 2005.
- 4) Hunt, J.D., Abraham, J.E.: Design and application of the PECAS land use modelling system. Paper presented at the 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Sendai, Japan, 2003.
- 5) Wagner, P., Wegener, M.: Urban Land Use, Transport and Environment Models: 27 Experiences With an Integrated Microscopic Approach. disP 170, 45-56, 2007.
- 6) 杉木直, 宮本和明, 大谷紀子, Varameth VICHENSAN: 総合的

- 属性からなる世帯マイクロデータの推計方法,第42回土木計画学研究発表会論文集,CD-ROM,2010.
- 7) 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.
  - 8) 杉木直・村中智哉・宮本和明：実都市を対象とした初期マイクロデータの推定手法の適用と検証, 土木計画学研究・講演集,47, CD-Rom,2013
  - 9) 市川航也・鈴木 温・杉木 直・吉川慎吾：統計的マッチングを用いた世帯と住宅の統合マイクロデータの生成, 第47回土木計画学研究発表会論文集,CD-ROM,2013.
  - 10) 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 12thWCTR, No.1774,2010.
  - 11) 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.
  - 12) 市川航也・鈴木温・北詰恵一・宮本和明：選択型コンジ  
ョイントを用いた住宅市場マッチングモデルの推定, 土  
木計画学研究・講演集, 2012.
  - 13) Atsushi SUZUKI, Koya ICHIKAWA: Micro-simulation of household location choice with matching based housing market model, Selected Proceedings of the 12thWCTR, No.1327, 2013.
  - 14) 株式会社ゼンリン：住宅ポイントデータ,  
<http://www.zenrin.co.jp/product/gis/marketing/marketing05.html>
  - 15) Marcello D’Orazio, Marco Di Zio and Mauro Scanu: Statistical Matching: Theory and Practice, John Wiley & Sons, Ltd, 2006.
  - 16) 河田正樹：統計的マッチングの適用可能性, 早稲田経済学研究, 1998.
  - 17) 栗原由紀子：相関特性推定における統計的マッチングの有効性についてーモンテカルロシミュレーションによる精度検証ー, 中央大学経済研究所年報, 2012.
  - 18) 坂田幸繁・栗原由紀子：統計的マッチングによる疑似パネルデータの作成と精度検証ー中小企業景況調査マイクロデータを利用してー, 法政大学 日本統計研究所 オケーショナル・ペーパー, 2011.
  - 19) NetLogo HP, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

(2014.4. 受付)

## EVALUATION ON HOUSING POLICIES WITH INTEGRATED MICRO-SIMULATION FOR HOUSEHOLDS AND HOUSINGS

Atsushi SUZUKI, Koya ICHIKAWA and Nao SUGIKI