

# 世帯マイクロシミュレーションを用いた 将来人口分布予測

鈴木 温<sup>1</sup>・鈴木 健文<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 名城大学准教授 理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口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高山国道事務所 (〒506-0055 岐阜県高山市上岡本町7-425)  
E-mail: @

我が国の多くの都市では、今後、少子高齢化等に伴う世帯構造変化によって人口分布も変化するが予想されている。将来人口の推定は、計画策定の基本になることから、これまでに多くの研究蓄積があり、実用化もされてきた。しかし、従来の手法の多くは人口増加を前提としたものや過去のトレンドが継続することを前提としているため、人口減少や少子高齢化に伴う世帯構造や人口分布の変化を必ずしも捉えることができていなかった。そこで、本研究では、結婚や就職等、ライフイベントの発生やそれに伴う転居の発生を確率的にモデル化することによって、世帯構造変化を考慮した将来の人口分布を推定できるマイクロシミュレーションモデルを提案する。また、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地域としたアンケート調査で得られた世帯マイクロデータを用いて、将来人口分布のシミュレーション結果を示す。

**Key Words :** *micro-simulation, population estimation, life events*

## 1. はじめに

今後、我が国では少子高齢化や人口減少により、これまで拡大してきた多くの都市が縮退へ転じる可能性がある。一方、地方都市部では、高齢者世帯の孤立や建物の老朽化、空き家の発生などの問題が深刻化している。今後、人口減少と高齢化が進むことによって、既存市街地が穴開き状になるような非効率な人口減少がもたらされる恐れも十分考えられる。そのような非効率な都市構造ではなく、効率的で持続可能な都市構造変化につなげるには、高齢化や人口減少が都市構造に与える影響を事前に検討しておくことが重要である。また、世帯の高齢化や住宅の老朽化は、同じ都市内においても地区によって、その状況は大きく異なる。したがって、上記のような問題に対応するには、都市内の小地域における人口変化を的確に予測することが必要である。

そこで、本研究では、都市の小地域の人口分布の将来人口推定を行うことを目的として、世帯マイクロデータを用いたマイクロシミュレーションの構築を行う。また、富山市の奥田北地域を対象地域として、構築したシミュレーションが現実的な人口変化が表現できているかの確認を行う。

## 2. 関連研究と本研究の位置づけ

我が国では、都市計画等の基礎情報となる将来人口は、コーホート要因法に準拠した方法で推計される場合が多い。コーホート要因法は同時期出生集団の出生、死亡、社会移動等に着目し、自然増減数、社会増減数を予測する手法であり、地域間の整合性確保やデータの入手可能性等に優れているため、実務レベルにおいて積極的に使われている。しかし、小地域単位の社会増減等では、推定値が安定的でないことや基本的には過去のトレンドが将来も継続することを仮定するため、非線形な人口動態を表現しにくいという問題点がある。マイクロシミュレーションはコーホート要因法のこれらの弱点を補完する有力な手法であると考えられる。

このような年齢構成や世帯構造の変化に伴う人口構造変化を分析・予測するツールとしてマイクロシミュレーションが提案されている<sup>1)</sup>。マイクロシミュレーションとは、経済の最小単位である個人や世帯、企業などを活動主体として、政策の効果を分析する手法である。1950年代に社会・経済政策を検討するために開発され、その後、欧米を中心として研究開発が進められた。近年では、雇用の経年変化、世帯・企業の立地選択等を考慮した空

間的なマイクロシミュレーションも開発されている。近年ではコンピュータの計算能力の向上によって、大規模な計算が行えるようになってきており、多様な個人や世帯の属性変化や空間的なシミュレーションモデルも提案されている<sup>3)</sup>。

我が国では、税や社会保障制度が家計等に与える影響などを検討することを目的として、国全体のマクロな視点のマイクロシミュレーションが研究されている<sup>4)5)</sup>。特に稲垣らが開発したINAHSIM<sup>4)</sup>は、1980年代に世帯の将来推計モデルとして初めて開発され、その後、数々の改善が試みられ、最新バージョンでは、政策シミュレーションのための総合的なツールとして活用できるモデルとなっている。

空間を考慮したマイクロシミュレーションに関する研究として、我が国では、林・富田<sup>6)</sup>の先駆的な研究や仮想都市を対象とした杉木ら<sup>7)8)</sup>の研究が行われてきた。近年ではデータ整備やコンピュータの計算能力が向上したこと等から世帯や住宅のマイクロデータの生成に関する研究<sup>9)</sup>が進み、実都市を対象とした大規模なマイクロシミュレーションが開発されつつある<sup>10),11),12),13)</sup>。

本研究は、実都市を対象として、個人および世帯に関するマイクロデータを用い、個人のライフイベントの発生を考慮した動的なマイクロシミュレーションを構築することによって、小地域の人口分布や世帯分布の中長期的な変化を予測することを試みる。

### 3. 本マイクロシミュレーションの基本構造

#### (1) 個人と世帯のデータ

本研究で構築するマイクロシミュレーションの基本構造を図-1に示す。本論文で対象とする範囲は、図のうち、赤い線で囲まれた範囲である。まず、各個人の属性情報を保持したデータベースを構築する。個人データとして年齢、性別、所属する世帯の世帯タイプ、配偶者や子供の有無や年齢等の情報が含まれる。各個人の情報は毎期、加齢、死亡、進学・就職、結婚、出生の順にライフイベントが確率的に発生する。また、進学、就職、結婚に伴い転居イベントが発生する。転入世帯や個人は都市内の個人データベースとは別に生成し、転入後、個人データベースに新たに加える。このようなライフイベントを連続的に発生させることによって、個人と世帯属性の遷移をモデル化する。本研究では、対象とする小地域の人口の変動をシミュレートすることが目的であるため、社会移動は当該ゾーンへの出入りのみを考え、立地選択や住宅選択は考慮しないが立地選択や住宅選択のモデルと組み合わせることによって、拡張可能。

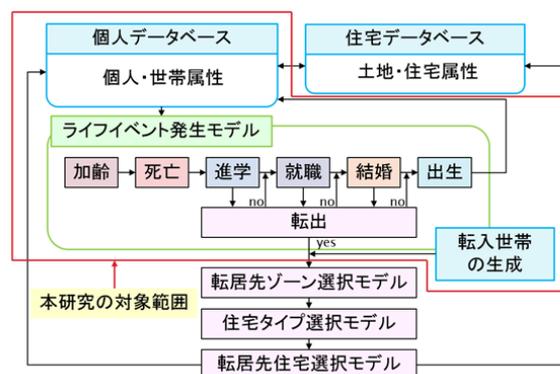


図-1 本マイクロシミュレーションの基本構造

#### (2) 各個人のライフイベント

各個人に対して考慮するライフイベントの発生確率の推定方法を以下で説明する。

##### a) 加齢イベント

加齢イベントとは各シミュレーションタイムステップにおいて最初に行われる処理であり、生存している全個人データに対して年齢を1加える。加齢した年齢を基に、これ以降のイベントの発生確率を与える。

##### b) 死亡イベント

生存している各個人全員のデータに対して男女別、年齢別の死亡確率を推定する。死亡確率は累積生存関数がワイブル分布を仮定した生存時間解析によって推定を行った。ワイブル分布の累積生存関数 $S(t)$ は式(1)のように表される。

$$S(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (t \geq 0) \quad (1)$$

ここで、 $t$ : 生存時間(年齢)、 $\alpha$ 、 $\beta$ はそれぞれパラメータである。

##### c) 出生イベント

既婚の女性(15-44歳)を対象者として母の年齢別、出生順位別の出生確率を与える。ある年にある年齢 $s$ の女性が第 $i$ 子を出生する出生確率は、その年に既婚かつ第 $i-1$ 子までの子を持つ女性の総数を分母とし、その年に第 $i$ 子を出産する確率を求める。第1子、第2子と増えるにつれて出生確率は低下していき、第3子以降は出生確率がほぼ変化しないため、以降は同様の確率を与えることとする。本研究では、人口動態調査の年齢別・都道府県別初婚者数の富山県のデータおよび母の年齢・出生順位・都道府県別出生数の富山県の統計データをもとに算出した。出生イベントが発生した場合、その世帯に年齢0で性別が確率的に決定された個人データを追加する。

##### d) 進学・就職イベント

18歳の者、22歳かつ学生の者に対してそれぞれ進学確率、就職確率を与える。進学確率については、大学およ

び専修学校進学人数を高等学校卒業総人数で割ったものを、就職確率については、就職人数を大学卒業総人数で割ったものを用いる。就職人数には大学院進学人数も含めるものとする。進学確率は平成23年学校基本調査の富山県・高等学校の卒業後の状況を基に、就職確率は平成23年学校基本調査の都道府県別・状況別大学卒業後の状況調査の富山県の統計データを基に算出した。18歳の者が進学した場合、就業状態を学生に更新し、そうでない場合、就業状態をフルタイム職に更新する。22歳かつ学生の者が就職した場合、就業状態をフルタイム職に更新する。また、それぞれのイベントが発生した際に、後述する転出確率を与え、転出する場合にはその個人データを対象地域外へ移動させることとする。

#### e) 結婚イベント

男性は18-44歳、女性は16-44歳の未婚者を対象者として男女別、年齢別の結婚確率を与える。結婚確率は各年齢の婚姻件数をその年齢の未婚者数で割ったものを男女別に求めた。また、この結婚確率をシミュレーションモデルに反映させるため、年齢を5歳階級別に区切り、それぞれの平均値を求めた。結婚確率は平成24年人口動態調査の年齢別・夫、妻別・都道府県別初婚者数の富山県の統計データと、平成22年国勢調査人口等基本集計の配偶関係別・年齢別・男女別人口の富山県の統計データをもとに算出した。本シミュレーションでは男性が結婚した場合、同年齢の妻を男性の世帯へ迎え入れる処理を行い、女性が結婚した場合、その女性は対象地域外へ転出するものとする。結婚イベントが発生した者は個人データの婚姻状態を既婚に更新する。

#### f) 転出イベント

転居イベントは転出イベント、転入イベントおよび合流イベントの3種類に分けて考える。進学・就職イベント発生時、または25-64歳の各個人に対して転出確率を与える。進学・就職イベントに伴う転出確率については、平成20年に富山県労働雇用課が発表した「富山県Uターン就職率調査及び県内高校卒業者の大学等卒業時における県外流出状況の推計結果について」のデータを用いた。25-64歳の者の転出確率は、5歳階級別に転出人数を人口で割ったものから進学・就職や結婚を理由に転出したものを除いて算出する。こちらの転出確率は平成23年人口移動調査の富山県、市町村別・年齢(5歳階級)別社会動態と、平成22年国勢調査人口等基本集計の年齢別人口の富山県の統計データ、および第7回(平成23年)人口移動調査のクロス集計表内の移動理由(過去5年間の移動について、男女別、年齢別)をもとに算出した。対象地域から転出した個人データは消去するのではなく対象地域外へ移動し、そこで属性遷移が行われる。そして再び転入してくる可能性を残し、結婚や就職を理由とする世帯の合流を表現する。

#### g) 転入イベント

転入イベントについては、4タイプの転入世帯を用意し、それぞれに対して統計データから推定された転入確率を与える。このイベントの発生判定回数は対象地域のその年次での人口数と同じ回数だけ行われることとする。これらの転入確率は平成23年人口移動調査の富山県、市町村別・年齢(5歳階級)別社会動態と、平成22年国勢調査人口等基本集計の年齢別人口の富山県の統計データ、および第7回(平成23年)人口移動調査のクロス集計表内の移動理由(過去5年間の移動について、男女別、年齢別)をもとに算出した。

#### h) 合流イベント

合流イベントとは、すでに転出している個人に対して発生する、就職や結婚などをきっかけとした元の世帯へ戻ってくるイベントである。日本の人口移動の特徴として、進学時に転出して、就職時や結婚時に親元世帯へ合流する者は少なくなく、または両親の介護のために子供が親元世帯へ合流する場合も多く見受けられる。このような移動を原因とする社会動態を表現するため、合流イベントを設けた。特に、富山県においては就職時における合流確率(Uターン就職確率)が全国的にも非常に高く、無視できない確率となっている。よって、転出していかつ22歳になった者に対して、この合流確率を与える。また、その他の転出している者に対しても合流確率を与えるべきだが、合流に関する統計データは少なく、確率の算出が困難であるため、一律に0.2%の合流確率を与えることとした。合流が発生した個人データは対象地域内へ移動し、元いた世帯へ加わる処理が行われる。

## 4. ライフイベント発生確率の推定

### (1) 対象地域

本研究では、コンパクトシティ政策に積極的に取り組んでいる富山市を対象とする。将来人口推定の対象地域は、富山駅の北側に位置し、比較的中心部に近く、LRT路線の沿線エリアの奥田北地区とした。図-2に対象地域の地図を示す。筆者らは、2011年12月に富山市全域を対象に全世帯の10%にあたる約14,000世帯を対象としたアンケート調査を実施した。この調査で得られた約5000世帯のマイクロデータをもとに村中ら<sup>9)</sup>が推定した富山市の全個人・世帯マイクロデータを人口推定の初期マイクロデータとして使用する。なお、初期時点(2011年)の対象地域の人口は8,179人である。

シミュレーションのタイムステップは1年間とした。また、本研究の人口推定シミュレーションはJavaの総合開発環境であるEclipse 4.3 Keplerによって構築した。



図-2 奥田北地区の位置と範囲

## (2) 死亡イベント発生確率の推定結果

死亡イベントに関する式(1)のパラメータ  $\alpha$  および  $\beta$  の推定結果と決定係数を示す。推定されたパラメータを用いて死亡イベントに関するハザード関数を推定した。図-2および図-3に推定された累積生存関数の推定値と実績値の関係を示す。この推定結果を図-3に示す。この死亡確率は平成22年都道府県別生命表の富山県の統計データを基に算出した。死亡した個人データはこれ以降のイベントも発生しなくなる処理が施される。

表-2 パラメータの推定結果と決定係数

	男性	女性
$\alpha$	8.104	10.222
$\beta$	85.854	92.399
決定係数 $R^2$	0.995	0.994

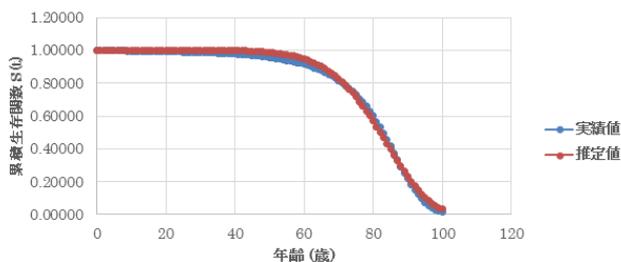


図-3 累積生存関数の実績値と推定値(男性)

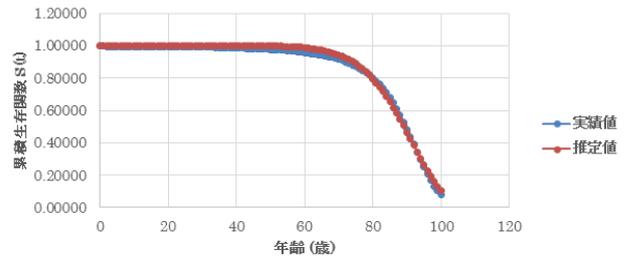


図-4 累積生存関数の実績値と推定値(女性)

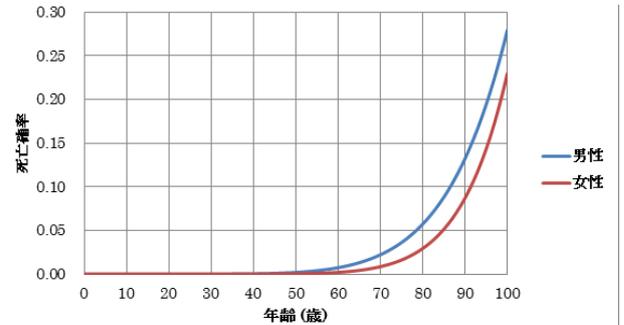


図-5 死亡イベント発生確率

## (3) 出生イベントの発生確率

出生確率をシミュレーションモデルに反映させるため、年齢を5歳階級別に区切り、それぞれの平均値を求めた。5歳階級別の出生確率を表-3に示す。この出生確率は平成24年人口動態調査の年齢別・都道府県別初婚者数の富山県の統計データと、母の年齢・出生順位・都道府県別出生数の富山県の統計データをもとに算出した。出生イベントが発生した場合、その個人が属する世帯にて性別が確率0.5ずつで決定される年齢0の個人を追加する。

表-3 年齢帯別出生順位別出生確率

年齢帯	第1子	第2子	第3子
15-19	1.00000	0.06296	0.00000
20-24	0.95789	0.19107	0.06134
25-29	0.54255	0.27571	0.08965
30-34	0.39954	0.30026	0.07699
35-39	0.37501	0.23917	0.04054
40-44	0.08979	0.04062	0.00497

## (4) 進学・就職イベントの発生確率

18歳の者、22歳かつ学生の者に対してそれぞれ進学確率、就職確率は前述のように、富山県の統計データより、それぞれ、81.2%、88.6%を用いた。

## (5) 結婚イベントの発生確率

図-5に本シミュレーションに用いた富山県にける結婚イベントの発生確率を示す。男性よりも女性の方が全体的に確率が高く、20代後半でピークに達していることが見て取れる。

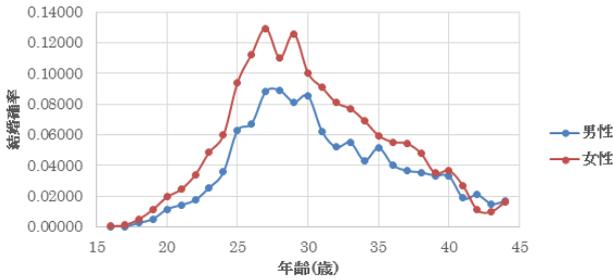


図-5 結婚イベント発生確率

### (6) 転出イベントの発生確率

図-6にシミュレーションに用いた年齢(5歳階級)別の転出確率を示す。年齢が増すにしたがって転出確率は小さくなっていることがわかる。

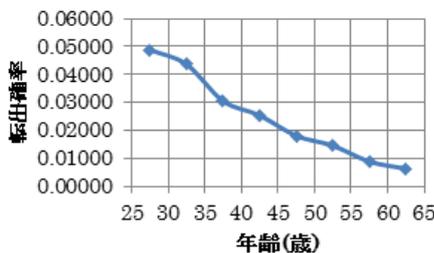


図-5 転出イベント発生確率

### (7) 転入イベントの発生確率

表-4にタイプ別の転入世帯の転入確率を示す。転入が発生した世帯はデータベースに加えられ、対象地域内に移動してきたこととする。転入者の属性割合や転入イベントの発生確率については様々なシナリオが考えられる。

表-4 転入者のタイプと転入発生確率

転入者のタイプ	転入確率	世帯員
大学生	0.4%	年齢が19歳の大学生1人世帯
新社会人	0.2%	年齢が23歳の新社会人1人世帯
転勤者	0.6%	年齢が25-64歳の男性1人世帯
その他の世帯	0.4%	年齢が30-69歳の夫婦と0-18歳の子供が1人いる3人世帯

## 5. 将来人口のシミュレーション結果

### (1) 10年後の地区人口推定

構築したマイクロシミュレーションモデルを用いて10年後の人口変化を自然動態(出生・死亡)・社会動態(転入・転出)に分けて推定を行った。本シミュレーションに用いる富山県富山市の奥田北地域の個人・世帯マイクロデータは調査を行った平成23年のものであるため、10年後である平成33年までの人口変化を推定する。シミュレーションは10回行い、その平均値をとる。なお、シミュレーション開始時点(平成23年)における奥田北の

人口は8179人とする。計算に要した時間は1回(10年間)の実行に約100秒であった。

### (2) 各ライフイベントの発生数と将来人口

表-5に10年間のシミュレーションを行った際の各回の各イベント発生回数を示す。出生数に比べ、死亡数がかなり多く発生している。奥田北のマイクロデータの平均年齢は富山市全体に比べて高めであり、さらに出生が発生する可能性がある若い既婚の女性の人口も少なめであったためと考えられる。転入・転出については、シミュレーションでは僅差で転出が上回る結果であった。平均年齢は、どの回でも上昇する結果となった。10回の平均値を取ると人口は90人減少、平均年齢は1.3歳上昇するという結果が得られた。平成26年9月時点の奥田北地区の人口は8,278人と当初時点よりも増加している。転入のシナリオによって社会増減は大きく変化することから、どのような転入しなりをが妥当か、また立地選択モデルを導入することによって地区の立地特性や住宅特性を考慮したシミュレーションに改良する予定である。

表-5 各ライフイベントの発生数と将来人口

回数	将来推計人口	平均年齢	出生	死亡	転入	転出
1	8028	49.7	560	1141	1819	1838
2	8113	49.4	651	1098	1880	1922
3	8100	49.4	598	1101	1922	1956
4	8094	49.2	632	1159	1899	1908
5	8177	49.2	650	1091	1922	1921
6	8040	49.3	607	1102	1770	1853
7	7991	49.6	604	1099	1783	1908
8	8058	49.5	626	1083	1780	1864
9	8162	49.3	592	1114	1925	1854
10	8129	49.6	588	1080	1940	1954
平均	8089	49.4	611	1107	1864	1898

図-6にシミュレーション回数毎の人口推定値のばらつきを示す。全体的に右肩下がりの人口減少傾向がうかがえるが部分的に人口が増加するケースも見られた。赤線で示された平均値は、2年目に人口増加、それ以降は緩やかに人口が減り続けている。平均値に極端な変化はなく、安定的に推移していく傾向が確かめられた、また、シミュレーション実行回別に人口推移を見みると、はじめの4,5年は比較的近い結果を算出しているが、それ以降はばらつきが拡大していき、最大で250人程度の誤差が発生していることがわかった。特に、5回目のシミュレーションでは人口増加傾向を示すが、第6回目では大幅な減少傾向となり、不安定さが残る結果となった。不安定要因を明らかにし、時間が経過しても安定的な推計ができるような改良を行っていく必要がある。

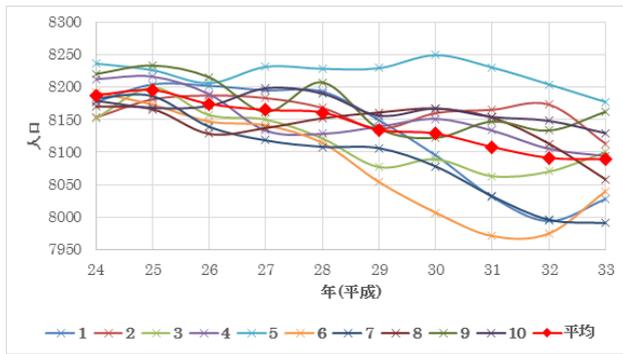


図-6 10年間の人口推移の推定結果

### (3) コーホート要因法との比較

最後に、日本国内の代表的な人口将来推計値である国立社会保障・人口問題研究所(以下、社人研)が公表しているデータとの比較を図-7に示す。社人研の推計値はコーホート要因法を用いて推計されている。社人研の公表データは富山市全体のものであるが、奥北地域の人口割合に合わせてスケールダウンした値を用いている。本モデルの結果は、前節同様、シミュレーション実行毎の誤差を取り除くため、10回の平均値をとった。計算に要した時間は30年間で約420秒であった。図-7の結果から、本モデルによるシミュレーション結果は、コーホート要因法に比べ、緩やかな人口減少カーブを描くことが見て取れる。転入シナリオによって結果がどのように変化するのか、より詳細に検討する必要がある。

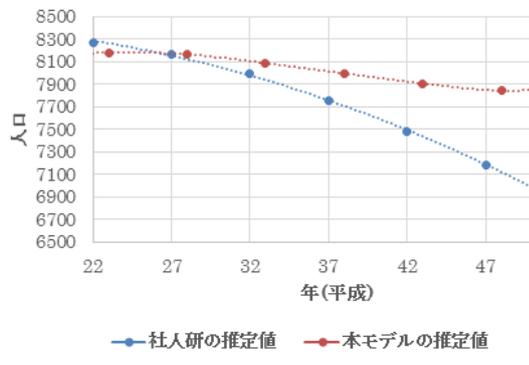


図-7 人口推定結果の社人研推定値との比較

## 7. おわりに

本研究では、実社会に近い人口変化を表現できるマイクロシミュレーションモデルを構築するため、生存時間解析等を用いて世帯属性の遷移を表現するとともに、入手可能な情報から推定された個人・世帯マイクロデータを用いて、各個人のライフイベントの発生確率を考慮した人口動態のモデル化を行った。ライフイベントとして加齢、死亡、出生、進学・就職、結婚、転居を考慮し、

各イベントについて発生確率の算出を行った。その結果、本シミュレーションは、従来の手法に比べ、より予測精度の高い結果が得られることが確認された。

今後の課題として、より正確な転入世帯タイプの生成および転入イベント発生確率の計算を行う必要がある。また、立地選択や住宅選択と組み合わせ、空間的により詳細な人口推定や土地・住宅価格変化などの空間分析が行える汎用性の高いモデルへ改良していくことが課題として挙げられる。

## 参考文献

- 1) Ballas, D., A spatial microsimulation approach to local labour market policy analysis, unpublished PhD thesis, School of Geography, University of Leeds, 2001
- 2) Ballas, D., Clarke, G., Dorling, D., Eyre, H., Thomas, B., and Rossiter, D., SimBritain: a spatial microsimulation approach to population dynamics. Population, Space and Place 11, 13-34. 2005
- 3) Tanton and Edwards (eds): Spatial Microsimulation: A Reference Guide for Users, Springer, Netherlands, 2013
- 4) 稲垣誠一：日本の将来社会・人口構造分析 - マイクロ・シミュレーションモデル(INAHSIM)による推計, 財団法人日本統計協会, 2007
- 5) 白石浩介：公的年金改革のマイクロ・シミュレーション, 一橋大学経済研究所世代間問題研究機構ディスカッションペーパー, 469号, 2008
- 6) 林良嗣・富田安夫：マイクロシミュレーションとランダム効用モデルを応用した世帯のライフサイクル-住宅立地-人口属性構成予測モデル, 土木学会論文集第395号/IV-9, pp.84-94, 1988
- 7) 杉木直・宮本和明：土地利用マイクロシミュレーションモデルにおける空間集計・主体集計の影響分析, 土木計画学研究・講演集, 2003
- 8) Sugiki, N., and Miyamoto, K. : Spatio-temporal aggregation effects and path-dependence in a land-use microsimulation system, Proceedings of 10th World Conference on Transport Research, CD-ROM, No.1014, 2004.
- 9) 村中智哉・杉木直・大谷紀子・宮本和明：富山市を対象とした世帯マイクロデータの設定と検証, 土木計画学研究・講演集, 49, 2014
- 10) Miller, E.J., Hunt, J.D., Abraham, J.E., and Salvini, P.A. :Microsimulating urban systems, Computers, Environment and Urban Systems, Vol.28, Issues 1-2, pp.9-44, 2004.
- 11) Waddell, P., Ulfarsson, G.F., Franklin, J., and Lobb, J. : Incorporating land use in metropolitan transportation planning, Transportation Research Part A, Vol.41, pp.382-410, 2007.
- 12) 鈴木温・市川航也・杉木直：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, 土木計画学研究・講演集, 49, 2014
- 13) Atushi SUZUKI, Koya ICHIKAWA: Micro-simulation of household location choice with matching based housing market model, Selected Proceedings of the 12th WCTR, No.1327, 2013.

(2015.4.24 受付)

FORECAST OF POPULATION DISTRIBUTION USING HOUSEHOLDS MICRO-  
SIMULATION

Atsushi SUZUKI,Takefumi SUZUKI