

# 都市外への転居行動を考慮した都市内人口分布の時系列推計モデルの構築

杉本 達哉<sup>1</sup>・神永 希<sup>2</sup>・高森 秀司<sup>3</sup>・佐藤 徹治<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)  
E-mail:tt-sugimoto@yachiyo-eng.co.jp

<sup>2</sup>正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)  
E-mail:kaminaga@yachiyo-eng.co.jp

<sup>3</sup>正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1-4-70)  
E-mail:takamori@yachiyo-eng.co.jp

<sup>4</sup>正会員 千葉工業大学教授 創造工学部都市環境工学科 (〒275-0016 千葉県習志野市津田沼2-17-1)  
E-mail:tetsuji.sato@it-chiba.ac.jp

わが国では、急速な人口減少・高齢化の対応として、『コンパクト+ネットワーク』を掲げている。都市構造のコンパクト化施策の評価の観点から、国の動向や既往研究を概観すると、施策実施による効果である人口分布を内生的に扱っている研究は少ない。さらに、転居実態をみると、都市内転居と都市外転居は同程度に存在しているが、都市構造のコンパクト化を評価する研究の中で、両方を内生的に扱ったものはみられない。以上を踏まえて、本稿では都市構造のコンパクト化施策の評価を行うために、都市外転居行動を考慮した都市内人口分布の時系列推計モデルを構築した。また、富山市を対象として、関数型の特定化、データセットの作成、パラメータ推定方法の検討を行った。

**Key Words :** *distribution of population, compact city, location equilibrium*

## 1. はじめに

わが国では、急速に人口減少・高齢化が進行しており、2050年頃には総人口は1億人を下回り、高齢化率は40%に達すると予測されている<sup>1)</sup>。今後の人口減少により、市街地の低密度化・空洞化は一層進行すると予想され、都市経済の衰退や高齢者の主な移動手段である公共交通の衰退、行政コストの増大など、様々な問題が生じることが懸念される<sup>2)</sup>。これらの問題等に対して、国は『コンパクト+ネットワーク』を基本的な考え方として、人口減少・高齢化等の制約の下、国全体の生産性を高めていくことを掲げている<sup>3)</sup>。さらに国では、市町村でコンパクトなまちづくりが推進されるよう、都市構造の評価手法をハンドブックとして<sup>4)</sup>まとめている。

都市構造のコンパクト化にあたっては、都市機能や居住機能の誘導・再整備、公共交通ネットワークの再構築などの施策が想定され<sup>5)</sup>、施策実施にあたっては、これらの施策がコンパクト化(人口分布の集約化)に与える影響を定量的に分析・評価することが望まれる。また、

転居が生じるには時間を要することや、今後の急速な人口減少が施策効果に与える影響は大きいと予想されることから、施策評価にあたっては時系列で将来の人口分布を推計することが必要と考える。しかしながら、上述のハンドブックの評価手法は、将来人口推計は行うものの、都市構造のコンパクト性と関連のある評価指標を用いて都市構造を評価するものであり、どのような施策がコンパクト化に効果的であるかを評価するものとなっていない。

都市構造のコンパクト化を定量的に評価した既往研究としては、施策効果を将来人口変化や整備内容として外生的に与えて、都市構造のコンパクト化に関連する指標により評価を行ったものが多くみられる<sup>6)9)</sup>。一方、施策に係る諸条件を外生的に与えて、人口分布を内生的に扱い、都市構造のコンパクト化を分析している研究として牧野・中川・松中・大庭(2010)<sup>10)</sup>、大庭・松中・中川・尹・牧野<sup>11)</sup>がある。しかし、同研究では閉鎖した単一中心的な仮想都市を対象とした一時点のシミュレーションに留まっており、将来人口の変化は考慮していない。

一方、転居の実態を富山市を例にみると<sup>12)</sup> (表-1) , 都市内転居と都市外転居に区別した場合、都市内転居は 11.4% (表中B) , 都市外転居は14.5% (表中C, 表中E) でどちらも同程度存在し、人口分布を推計する上でいずれも重要である。しかしながら、上述の都市構造のコンパクト化を定量的に評価した既往研究の中で、都市内転居・都市外転居の両方を内生的に扱った人口分布推計手法を筆者は寡聞にして知らない。

そこで本稿では、都市構造のコンパクト化施策の評価に利用可能な、都市外転居行動を考慮した都市内人口分布の時系列推計モデルの構築を目的とする。本モデルでは、人口分布推計の精度を高めるために、以下の要素を取り入れる。

- ◇ 転居行動の要因とされるライフステージを念頭に、住宅立地主体を世帯主の年齢階層別の世帯として設定
- ◇ 転居理由の違いを踏まえ、都市内転居と都市外転居を区別してモデル化
- ◇ 現在居住地の住環境と転居行動の関係を踏まえ、転居需要を内生的に決定

## 2. 既往研究の整理と本稿の位置づけ

前章では都市構造のコンパクト化に絞って、既往研究から本稿の目的を示した。本章では都市構造のコンパクト化に限らず、人口分布に関連する人口移動についての既往研究の概観を整理し、本稿で構築するモデルの位置づけを明らかにする。

### (1) 人口移動研究について

人口移動の研究については、大きく地域間人口移動と地域内人口移動に大別される<sup>13)</sup>。以下、それぞれの既往研究を示した上で、本稿のモデルの位置づけを明らかにする。

#### a) 地域間人口移動

地域間人口移動の研究は、表-2に示す4つに大別される。このうち「移動流に関する研究」は、さらに「社会物理学研究」、「移動先選択の研究」、「移動パターン研究」、「地域成長分析」に分けられる<sup>13)</sup>。

本稿のモデルでは、転居行動をモデル化し、世帯がどこへ移動するかについて着目しているため、移動先選択の研究に位置づけられると考える。移動先選択の研究のうち、Place Utility論を用いた研究としては、例えば、青山・近藤 (1992)<sup>14)</sup>があり、地域の効用差と人口の移動機会に基づく地域間人口移動モデルを構築し、人口移動のメカニズムについて考察している。当該モデルにおける効用関数は、「全国を対象とした地域間人口移動は就

表-1 5年間での転居状況 (富山市)

場所 (H17→H 22)	人口	割合
A : 転居無し (現住所→現住所)	323, 211	71. 6%
B : 市内→現住所 (市内)	51, 580	11. 4%
C : 市外→現住所 (市内)	35, 532	7. 9%
D : 不明→現住所 (市内)	11, 630	2. 6%
E : 市内→市外	29, 608	6. 6%
合計	451, 561	100. 0%

表-2 地域間人口移動研究の分類及び内容<sup>13)</sup>

分類	内容	
移動圏域に関する研究	・移動時の出発地と目的地から、移動構成を分析し、移動圏を解析することを目的とした研究	
移動趨勢に関する研究	・形式人口学の枠組みで移動の趨勢を分析し、人口移動を予測することを目的とした研究	
移動流に関する研究	社会物理学研究	・社会現象の物理学的説明を目指した学問である社会物理学を人口移動に適用した研究
	移動先選択の研究	・移動先の決定に関する研究であり、主として5つの理論が存在 (雇用機会論, 所得差論, 人的資本論, Place Utility 論)
	移動パターン研究	・集中移動と分散移動の割合を分析することにより、人口分布の変化を調査した研究であり、3つに大別 (対象を細分化した研究, 移動転換研究, スケジュールモデル研究)
	地域成長分析	・特定の地域に注目して、当該地域の人口変動を移動の観点から分析した研究
大規模複合目的調査に基づく研究	・膨大な量のアンケート調査を行い、移動車の意思決定要因や移動実態を詳細に分析した研究	

表-3 地域内人口移動研究の分類及び内容<sup>13)</sup>

分類	内容
土地利用・交通モデルの研究	・広範囲にわたる土地利用やそれに付随した交通の相互作用、それらに対する各種政策の効果を分析する研究
住宅立地モデルの研究	・世帯の居住地選択に焦点を絞り、環境要因を外生的に与えた上で世帯の選択行動をモデル化することによってそのメカニズムを理論化し、立地状況を分析・予測する研究
住み替え研究	・世帯属性別の住み替え過程や住み替え理由、立地地点選定の理由を調査し、実証的に分析する研究

業が主な原因であり、関東圏内における人口移動は、勤務地は現在のままで居住地を変更する住み替え行動による移動が主である」という考えから、地域間移動の説明変数と関東圏内移動の説明変数を異なる設定としている。

青木 (1999)<sup>13)</sup>では、地域間人口移動研究の課題として「①工学的枠組みに基づいた研究の必要性」、「②各理論の統合の必要性」、「③方向別移動理論の構築の必要性」を挙げている。ここで、①は政策効果と連動した人口移動研究の必要性を指しており、本稿の目的はこの課題への対応の一つと言える。さらに、本稿モデルではコーホート要因法と均衡概念を組み合わせており、②の課題への対応の一つとも言える。

## (2) 地域内人口移動

地域内人口移動の研究は、表-3の3つに大別される<sup>13)</sup>。

本稿では、世帯の立地行動をモデル化するため、住宅立地モデル研究に位置づけられると考える。ただし、人口分布を推計するにあたり、土地利用と交通の相互作用を考慮することは重要であるため、本稿モデルは、今後、土地利用・交通モデルへの展開が求められる。

わが国の土地利用・交通モデルについては、青山 (1984)<sup>15)</sup>、上田・堤 (1999)<sup>16)</sup>に発展経緯が詳しくまとめられている。上田・堤 (1999) では、80年代後半からの土地利用・交通モデル開発の方向性として、「ロジックモデルの導入」、「土地市場のモデル化」、「都市経済学の理論、他市場同時均衡理論、一般均衡理論など、理論的に整合したフレームでのモデル化」を挙げている。

この方向性に沿ったモデルの一つの形態として、応用都市経済モデル (Computable Urban Economic model (CUEモデル)) がある。CUEモデルとは、土地利用・交通モデルにミクロ経済学的な基礎を導入した他市場同時均衡モデルであり、費用便益分析で用いられる便益評価と完全に整合しているという特徴を持つ<sup>17)</sup>。

堤・山崎・小池・瀬谷 (2012)<sup>18)</sup>では、CUEモデルの枠組みの拡張に関する展望として、「空間的連結階層化」、「動学化」を挙げている。このうち、「動学化」には、転居割合の内生化についても挙げられている。本稿モデルは、CUEモデルの枠組みでは無いが、転居需要を内生的に決定する構造としており、上述の展望に関連した試みの一つと考える。

一方、均衡モデルでない土地利用・交通モデルとして、土地利用マイクロシミュレーションがある。土地利用マイクロシミュレーションとは、個人や世帯等を最小単位として個々の活動を表現するモデルであり<sup>19)</sup>、欧米諸国を中心に活発な取り組みがされている<sup>20)</sup>。

## (3) 既往モデルの比較

本稿のモデルは、都市構造のコンパクト化施策を評価するために、「時系列」、「住宅立地主体の属性」、「都市外転居」に着目して構築するため、これらの要素について既往のCUEモデル等との比較を行う (表-4)。

時系列を扱ったものとして、尹・青山・中川・松中

(2000)<sup>21)</sup>、国土交通省国土交通政策研究所 (2005)<sup>22)</sup>、宮澤・高木・秋山・大森 (2006)<sup>23)</sup>、今井・佐藤 (2015)<sup>24)</sup>がある。国土交通省国土交通政策研究所<sup>22)</sup>では、各期において総人口を外生的に与え、移動層を対象に立地配分を行い、配分結果と留保層 (転居しない主体) の人口を合計することにより人口分布を推計している。宮澤ら<sup>23)</sup>では、コーホート変化率法により前期の人口分布から人口増減後の人口分布を推計した上で、全人口を対象として立地配分を行い、人口分布を推計している。尹ら<sup>21)</sup>や今井ら<sup>24)</sup>では、前期の人口分布のうち、移動層を対象として立地配分を行い、配分結果と留保層の人口を合計することで人口分布を推計している。本稿のモデルは、実際には全ての主体が転居を行うわけではないと考え、全体のうちの一部を立地配分の対象とする。また、留保層の分布は前期の分布に依存するため、前期の人口分布を踏まえて人口分布を推計するモデルとする。

住宅立地主体 (世帯もしくは人口) の属性を複数扱ったものとして、宮澤ら<sup>23)</sup>、小池・漆谷・山崎 (2010)<sup>25)</sup>、山形・瀬谷・中道 (2011)<sup>26)</sup>、今井ら<sup>24)</sup>がある。宮澤ら<sup>23)</sup>、小池ら<sup>25)</sup>では、住宅立地主体を人口一人当たりで捉え、一定の年齢で区切った世代別に扱っている。山形ら<sup>26)</sup>は、一世帯当たりで捉え、高齢単身、若中年夫婦等の世帯構成別に扱っている。今井ら<sup>24)</sup>では、一世帯当たりで捉え、戸建て、集合住宅等の住宅タイプ別に扱っている。本稿のモデルでは、転居の意思決定は世帯主が行うものと考え、一世帯当たりで捉え、転居の要因はライフステージが影響していると考え、年齢別に扱う。

都市外転居を扱ったものとして、尹ら<sup>21)</sup>、国土交通省国土交通政策研究所<sup>22)</sup>、宮澤ら<sup>23)</sup>、今井ら<sup>24)</sup>がある。尹ら<sup>21)</sup>では、転出率、転入率を外生的に設定し (ゾーン一律)、各ゾーン (対象圏域を構成する複数の空間) の夜間人口に乗ることにより都市外転居を推計している。

表-4 既往モデルの比較

	時系列		住宅立地主体属性		都市外転居
	前期人口分布に依存	一部を立地配分	世帯	人口	
尹・青山・中川・松中 (2000)	○	○			○
国土交通省国土交通政策研究所 (2005)		○			
宮澤・高木・秋山・大森 (2006)	○			○ 世代	
小池・漆谷・山崎 (2010)				○ 世代	
山形・瀬谷・中道 (2011)			○ 世帯構成		
今井・佐藤 (2015)	○	○	○ 住宅タイプ		○
本稿モデル	○	○	○ 世代		○

国土交通省国土交通政策研究所<sup>22)</sup>、宮澤ら<sup>23)</sup>、今井ら<sup>24)</sup>では、総人口の人口増減として都市外転居を扱っている(増減率はゾーン一律)。本稿のモデルでは、都市外への転居は対象地域外の都市との比較により生じると考え、他都市の状況を踏まえて都市外への転居を推計するものとする。また、都市外からの転居は、転居先となるゾーンの状況によって転居数が異なると考え、ゾーンの効用により確率的に分布するように扱う。

### 3. 理論モデルの構築

#### (1) モデルの概要

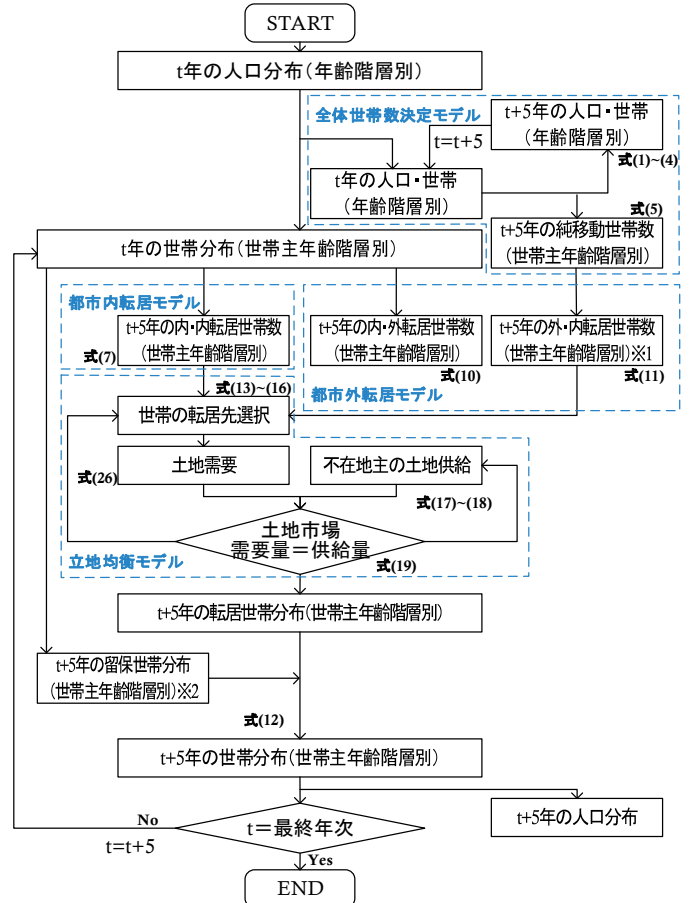
本モデルの全体構成は図-1に示すとおりである。総数は全体世帯数決定モデルにより算出する。分布は、都市内転居モデルおよび都市外転居モデルにより転居数(立地配分の対象)を算出したのち、世帯行動モデルおよび不在地主行動モデル、土地市場の均衡式により算出する。モデル構築にあたり、以下の仮定をおく。

- ◇ 対象圏域は1市町村として、複数のゾーンに分割されている。
- ◇ 各ゾーンにおいて、ゾーン内の施設へのアクセシビリティや地代等の価格は均質とする。
- ◇ 対象圏域外からの転入は、全体世帯数決定モデルから算出される純移動数と、都市外転居モデルから算出される内・外転居世帯数から求める。
- ◇ 経済主体は、世帯属性別(世帯主年齢別)の「家計」と、「不在地主」の2主体とする。
- ◇ 家計は、「転居意思の有無」、「対象圏域内転居先の選択」の2段階での意思決定行動を行う。転居意思は都市内転居モデルおよび都市外転居モデルにより決定する。また、家計は転居先の選択に際し、効用最大化行動を行う。
- ◇ 不在地主は利潤最大化行動を行う。
- ◇ 市場は土地市場のみを考える。
- ◇ 対象圏域内転居先は、立地均衡モデルにより決定される。

#### (2) 全体世帯数決定モデル

全体世帯数は、コーホート要因法により年齢別人口を推計し、推計人口に世帯主率を乗じて世帯主年齢階層別に推計する(世帯主率法)。年齢階層別人口を式(1)~(3)、世帯主年齢階層別総世帯数を式(4)、世帯主年齢階層別純移動世帯数を式(5)に示す。

$$POP_{t+5}^{w,m} = POP_t^{w,m} \cdot (S^{w,m} + M^{w,m}) + POP_t^{w,f} \cdot (S^{w,f} + M^{w,f}) \quad (1)$$



※1: 純移動世帯数と内・外転居世帯数の合計  
 ※2: 世帯分布から内・内世帯数および内・外世帯数を除いた分布

図-1 モデルの全体構成

ただし、 $w=0$  (0~4歳) の場合、

$$POP_t^{w,m} = \sum_{\mu} (POP_t^{\mu,m} \cdot f_{\mu} \cdot \frac{L}{100+L}) \quad (2)$$

$$POP_t^{w,f} = \sum_{\mu} (POP_t^{\mu,m} \cdot f_{\mu}) - POP_t^{w,m} \quad (3)$$

$$N_t^w = POP_t^{w,m} \cdot \dot{N}^{w,m} + POP_t^{w,f} \cdot \dot{N}^{w,f} \quad (4)$$

$$MN_{t+5}^w = POP_t^{w,m} \cdot M^{w,m} \cdot \dot{N}^{w,m} + POP_t^{w,f} \cdot M^{w,f} \cdot \dot{N}^{w,f} \quad (5)$$

ここで、 $t$ : 期、 $w$ : 年齢階層 (0: 0~4歳, 5: 5~9歳, 10: 10~14歳, 15: 15~19歳, 20: 20~24歳, 25: 25~29歳, 30: 30~34歳, 35: 35~39歳, 40: 40~44歳, 45: 45~49歳, 50: 50~54歳, 55: 55~59歳, 60: 60~64歳, 65: 65~69歳, 70: 70~74歳, 75: 75歳以上),  $m$ : 男性,  $f$ : 女性,  $POP$ : 人口,  $M^w$ : 年齢階層 $w$ から年齢階層 $w+5$ にかけての純移動率,  $S^w$ : 年齢階層 $w$ から年齢階層 $w+5$ にかけての生残率,  $L$ : 出生性比,  $N$ : 世帯数,  $\dot{N}$ : 世帯主率,  $f_{\mu}$ : 年齢階層 $\mu$ における子ども女性比,  $MN$ : 純移動世帯数。

#### (3) 転居意思決定モデル

##### a) 都市内転居モデル

林・富田・奥田 (1987)<sup>27)</sup>では、住宅需要を「住み替

え潜在需要の発生」と「住み替え需要顕在化」の2段階で捉えている。ここで、住み替え潜在需要とは、世帯のライフステージの進行等により、世帯属性と居住住宅属性とが適合しなくなり、住み替えるための新たな住宅を探索しようとする段階のことを指す。また、住み替え需要顕在化とは、住み替えに適した住宅が見つけれられ実際に行動に移す段階を指す。

本稿も同様の概念を用い、式(6)のように定式化する。式(6)のうち括弧内は住み替え潜在需要を示す。また、需要顕在化にあたっては、同じ住み替え潜在需要の下では所得の多い世帯の方が住み替えやすいと考え、顕在化を表現するために所得の関数を用いる。なお、都市内での転居は就業先を変更するような転居では無く、住み替え行動と見なし、ここでの間接効用については、後述の立地均衡モデルの世帯行動に用いる間接効用と同じものとする。

$$P_{i,t+5}^{w+5} = \left( \frac{1}{1 + \exp(V_{i,t}^w + \tau_i^w)} \right) \cdot \theta(I) \quad (6)$$

ここで、 $i$  : ゾーン、 $P_i^w$  : ゾーン  $i$  の世帯主年齢階層  $w$  の世帯が内・内転居（都市内転居）を行う確率、 $V$  : 間接効用、 $\tau$  : 間接効用以外の地域（ゾーン）の魅力度を示す項目、 $\theta(\cdot)$  : 需要が顕在化することを表現する関数。

よって、内・内転居世帯数は式(7)のとおりとなる。

$$N_{t+5}^{w+5} = \sum_i N_{i,t}^w \cdot P_{i,t+5}^{w+5} \quad (7)$$

ここで、 $N'$  : 内・内転居世帯数。

#### b) 都市外転居モデル

都市外転居については、転居候補となる競合都市と現在の都市の効用から確率的に決まるとし、各候補都市への転居確率を式(8)のように定式化する。これより、都市外への転居確率は式(9)のとおりとなる。なお、都市外への転居は、就職や転職、転勤など、就業先を変更するような転居であり、都市内転居とは特性が異なると考え、ここで用いる効用は就業者数や所得などを変数とする。

$$P_{r,t+5}^{w+5} = \left( \frac{\exp(V_{r,t}^w)}{\sum_R \exp(V_{R,t}^w)} \right) \cdot \varphi_r^w \quad (8)$$

$$P_{in-out,t+5}^{w+5} = \sum_{ro} P_{ro,t+5}^{w+5} \quad (9)$$

ここで、 $R,r$  : 候補都市（対象圏域および競合都市）、 $P_r^w$  : 世帯主年齢階層  $w$  の世帯が都市  $r$  を選択する確率、 $V'$  : 都市外への移動に関する効用、 $\varphi$  : パラメータ、 $P_{in-out}$  : 内・外転居（都市内から都市外への転居）を行う確率。

よって、内・外転居世帯数は式(10)のとおりとなる。

$$N_{in-out,t+5}^{w+5} = \sum_i N_{i,t}^w \cdot P_{in-out,t+5}^{w+5} \quad (10)$$

ここで、 $N_{in-out}$  : 内・外転居世帯数。

次に、内・外転居世帯数と純移動世帯数の合計から、外・内転居（都市外から都市内への転居）世帯数を算出する（式(11)）。式(11)において、右辺がマイナスとなった場合、外・内転居世帯数はゼロ、内・外転居者数＝純移動世帯数（の絶対値）とする。

$$N_{out-in,t+5}^{w+5} = MN_{t+5}^{w+5} + \sum_i N_{in-out,i,t+5}^{w+5} \quad (11)$$

ここで、 $N_{out-in}$  : 外・内転居世帯数。

以上から、留保世帯数は式(12)のようになる。

$$RN_{i,t+5}^{w+5} = N_{i,t}^w \cdot S^w - (N_{i,t+5}^{w+5} + N_{in-out,i,t+5}^{w+5}) \quad (12)$$

ここで、 $RN$  : 留保世帯数。

#### (4) 立地均衡モデル

##### a) 世帯の行動

家計の行動は、所得制約の下、効用を最大化するように合成財、土地の消費を行うものとして定式化する（式(13)）。

$$V_{i,t}^w(U_{i,t}^w) = \max[U_{i,t}^w(x_i^w, b_{i,t}^w, \gamma_i^{n,w})] \quad (13a)$$

$$\text{s.t. } px_i^w + R_{i,t} b_{i,t}^w = I_i^w \quad (13b)$$

ここで、 $V(\cdot)$  : 間接効用水準、 $U(\cdot)$  : 効用水準、 $x$  : 合成財需要量、 $b$  : 土地需要量、 $\gamma^n$  :  $n$  番目の立地条件、 $p$  : 合成財価格 (=1)、 $R$  : 地代、 $I$  : 所得。

上記の最大化問題を解くと、各需要関数が得られ、それを式(13)に代入すると間接効用関数が得られる。

$$V_{i,t}^w = V_{i,t}^w(I_i^w, R_{i,t}, \gamma_i^{n,w}) \quad (14)$$

家計の立地選択行動は、宮城（1985）<sup>28)</sup>で定義された選択の基本公式で表され、上記の間接効用関数を用いて以下の最大化問題により定式化できる。

$$E_t^w = \max_{P_{i,t}^w} \left[ \sum_i P_{i,t}^w V_{i,t}^w - \frac{1}{\theta'} \sum_i (P_{i,t}^w \ln P_{i,t}^w) \right] \quad (15a)$$

$$\text{s.t. } \sum_i P_{i,t}^w = 1 \quad (15b)$$

ここで、 $E$  : 世帯の立地選択における最大期待効用値、 $\theta'$  : ロジットパラメータ、 $P_i^w$  : 世帯主年齢階層  $w$  の世帯がゾーン  $i$  を選択する確率（内・内転居）。

上記の最大化問題を解くと、立地選択確率が以下のロジットモデルとして得られる。

$$P_{i,t}^w = \frac{\exp\{\theta^w \cdot (v_{i,t}^w + \tau_i^w)\}}{\sum_i \exp\{\theta^w \cdot (v_{i,t}^w + \tau_i^w)\}} \quad (16)$$

b) 不在地主の行動

不在地主の行動は、家計からの地代収入と提供する土地の維持管理費用からなる利潤最大化行動として定式化する。

$$\pi_{i,t} = \max_{K_{i,t}} [R_{i,t}K_{i,t} - C(K_{i,t})] \quad (17a)$$

$$\text{s.t. } C(K_{i,t}) = -\sigma_i \bar{K}_{i,t} \ln\left(1 - \frac{K_{i,t}}{\bar{K}_{i,t}}\right) \quad (17b)$$

ここで、 $\pi$ ：利潤、 $K$ ：土地供給量、 $C(\cdot)$ ：不在地主の費用関数、 $\bar{K}$ ：土地供給可能面積、 $\sigma$ ：パラメータ。

上記を解くと以下の土地供給関数が得られる。

$$K_{i,t} = \left(1 - \frac{\sigma_i}{R_{i,t}}\right) \bar{K}_{i,t} \quad (18)$$

c) 均衡条件

土地市場の条件は式(19)、また、立地均衡条件は式(20)となる。

$$\sum_w b_{i,t}^w \cdot N_{i,t}^w = K_{i,t} \quad (19)$$

$$N_{i,t}^w = P_{i,t}^w N_t^{wT} \quad (20)$$

ここで、 $N^{wT}$ ：世帯主年齢階層  $w$  の総世帯数。

4. モデルの適用

(1) 対象圏域およびゾーン

対象都市はコンパクトシティ施策を行っている自治体の一つである富山市とする。対象圏域は富山市全体、ゾーンは標準地域メッシュの 500m メッシュとする。

(2) 適用にあたっての設定

a) 関数型の特定化

都市内転居に関する効用関数は式(21)のとおり定式化する。立地条件は、富山市の世帯主を対象としたアンケート調査結果<sup>24)</sup>を踏まえ、「食品スーパーまでの距離」、「最寄鉄道駅までの距離」とし、以下のよう定式化する。

$$V_{i,t}^w(U_{i,t}^w) = \max[\alpha_x^w \ln x_i^w + \alpha_b^w \ln b_{i,t}^w + \sum_n \alpha_\gamma^{n,w} \ln \gamma_i^{n,w}] \quad (21a)$$

$$\text{s.t. } p x_i^w + R_{i,t} b_{i,t}^w = I_i^w \quad (21b)$$

ここで、 $\gamma^n$ ： $n$  番目の立地条件（1：食品スーパーまでの所要時間、2：最寄駅までの所要時間）、 $\alpha_x, \alpha_b, \alpha_\gamma$ ：パラメータ ( $\alpha_x + \alpha_b = 1$ )。

表-5 パラメータ推定に用いるデータ

項目	
人口	地価
世帯	土地供給可能面積
生残率	土地供給面積
純移動数 (H12→H17)	平均所得 (都道府県別年齢階層別)
食品スーパーまでの所要時間	就業者数
鉄道までの所要時間	都市間転居の確率

上記の最大化問題を解くと、需要関数が得られ、それを(21)に代入すると間接効用関数が得られる。

都市外への転居に関する効用関数は、夜間人口あたりの就業者数と所得を変数として定式化する。なお、候補都市は、対象圏域、対象圏域以外の富山県、その他各都道府県とする。

b) データセットの作成

パラメータ推定に用いるデータを表-5に示す。人口は、500m メッシュ単位での年齢階層別人口が統計データとして存在しないため、小地域単位での年齢階層別人口を 500m メッシュ単位での総人口を用いて按分して算出した。世帯数も、500m メッシュ単位では世帯主年齢階層別の数が統計データとして存在しないため、500m メッシュの年齢階層別人口に世帯主率を乗じて算出した。

食品スーパーまでの所要時間は、各メッシュから最寄りの食品スーパーまでの道路距離を富山市における自動車の平均走行速度<sup>29)</sup>で除すことにより算定した。道路距離は、富山市における道路距離と直線距離との比率<sup>30)</sup>を直線距離に乗じて算出した。鉄道までの所要時間も、速度に標準歩行速度を用いて同様の方法により算出した。

地価は、2000 年地価公示データを用いて地価関数を推定し、推定した地価関数に各メッシュにおける説明変数の水準を代入して推計した。

土地供給可能面積は、土地利用細分メッシュのうち、田、その他の農用地、建物用地の合計として算出した。土地供給面積は、宅地面積を土地利用メッシュ上の建物用途メッシュの面積で按分して算出した。

(3) パラメータの推定

a) 土地供給関数

式(18)に、供給可能面積  $\bar{K}_i$ 、土地供給面積  $K_i$ 、地価  $R_i$  を代入して、一時点のデータにより推定する。

b) 土地需要関数

式(21)から得られる土地需要関数に、土地需要面積  $b_i^w$ 、所得  $I_i^w$ 、地価  $R_i$  を代入して、一時点のデータにより推定する。

c) 都市外転居関連

式(8)に、夜間人口あたりの就業者数  $Q_{R,t}^w$ 、所得  $I_{R,t}^w$ 、都市  $r$  を選択する確率  $P_{r,t+5}^w$  を代入して、多時点のデー

タにより推定する。

#### d) 都市内転居関連

各ゾーンにおいて純移動数における等式を立て、世帯数  $N_i^w$ 、所得  $I^w$ 、地価  $R_i$ 、上述で推定したパラメータ  $\alpha_b^w$ 、 $\alpha_x^w$  を代入して、一時点のデータにより推定する。具体的には、式の左辺は統計データである人口と生残率から算出する純移動数とする。式の右辺は、式 (6)、(7)、(10)、(11)、(16) から算出する当該ゾーンへの転入数と、式 (6)、(7)、(10) から算出する当該ゾーンからの転出数の差分とする。

## 5. おわりに

本稿では、都市構造のコンパクト化施策の評価を行うために、①住宅立地主体を年齢階層別に捉え、②都市外転居を考慮し、③転居需要を内生的に決定する、都市内人口分布の時系列推計モデルの構築を行った。また、富山市を対象として、関数型の特定化、データセットの作成を行い、パラメータ推定の方法を検討した。なお、パラメータ推定結果およびモデルによる再現性の確認については、発表会で報告する予定である。

### 参考文献

- 1) 国立社会保障・人口問題研究所、日本の将来推計人口 (平成 24 年 1 月推計)
- 2) 国土交通省、今後の市街地整備の目指すべき方向、2008
- 3) 国土交通省、国土のグランドデザイン 2050、2014
- 4) 国土交通省、都市構造の評価に関するハンドブック、2014
- 5) 池田大一郎・谷口守・島岡明生：汎用性の高い都市コンパクト化評価支援システム (SLIM CITY) の開発と適用、土木計画学研究・論文集、Vol. 21, P 501-506, 2004
- 6) 根市政明・土屋貴佳・室町泰徳：都市のコンパクト化による都市施設マネジメント費用の変化に関する研究、土木計画学研究・論文集、Vol. 24, P 217-222, 2007
- 7) 戸川卓哉・小瀬木祐二・鈴木祐大・加藤博和・林良嗣：環境・経済・社会のトリプル・ボトムラインに基づく都市持続性評価システム、土木計画学研究・講演集、Vol. 41, CD-ROM, 2010
- 8) 安立光陽・鈴木勉・谷口守：コンパクトシティ形成過程における都市構造リスクに関する予見、土木学会論文集 D3 (土木計画学)、Vol. 68, No. 2, P 70-83, 2012
- 9) 金子貴誉史・森本章倫・井上恭介：持続可能性から見た都市のコンパクト化の評価に関する研究、土木計画学研究講演集 Vol. 48, CD-ROM, 2013
- 10) 牧野夏樹・中川大・松中亮治・大庭哲治：都市の人口規模に着目したコンパクトシティ施策の効果に関する研究、土木計画学研究・論文集、Vol. 27, P 345-353, 2010
- 11) 大庭哲治・松中亮治・中川大・尹鍾進・牧野夏樹：中心市街地の空間配分を考慮した公共交通利便性が都市構造に及ぼす影響に関する研究、都市計画論文集、Vol. 47, P 9-16, 2012
- 12) 平成 22 年国勢調査人口移動集計 移動人口の男女・年齢等集計、総務省統計局、2010
- 13) 青木俊明：都市内居住特性分布の変化とその予測、東北大学博士学位論文、1999
- 14) 青山吉隆・近藤光男：地域間効用差に基づく人口の社会移動モデルに関する研究、土木計画学研究・論文集、No. 10, P 151-158, 1992
- 15) 青山吉隆：土地利用モデルの歴史と概念、土木学会論文集、Vol. 347, P 19-28, 1984
- 16) 上田孝行・堤盛人：わが国における近年の土地利用モデルについて、土木学会論文集、Vol. 625, P 65-78, 1999
- 17) 上田孝行・堤盛人・武藤慎一・山崎清：わが国における応用都市経済モデル - 特徴と発展経緯 -、計画・交通研究会、ワーキングペーパーシリーズ、WP 09-04, 2009
- 18) 堤盛人・山崎清・小池淳司・瀬谷創：応用都市経済モデルの課題と展望、土木学会論文集 D3 (土木計画学)、Vol. 68, No. 4, P 344-357, 2012
- 19) 金崎智也・北詰恵一：土地利用マイクロシミュレーションのための年代の違いを考慮した世帯別転居行動分析、土木計画学研究発表会・講演集、Vol. 47, CD-ROM, 2013
- 20) 大谷紀子・杉木直・宮本和明：都市マイクロシミュレーションに基づく課題の抽出と政策立案、土木計画学研究発表会・講演集、Vol. 47, CD-ROM, 2013
- 21) 尹鍾進・青山吉隆・中川大・松中亮治：立地変動を考慮した実用的な土地利用・交通モデルの構築、土木計画学研究・論文集、Vol. 17, P 247-256, 2000
- 22) 国土交通省国土交通政策研究所：経済成長と交通環境負荷に関する研究 I、国土交通政策研究、Vol. 42, 2005
- 23) 宮澤俊治・高木義朗・秋山孝正・大森貴仁：フエジィ推論と GIS データを用いた世代別立地均衡モデルの構築、土木計画学研究・論文集、Vol. 23, P 211-220, 2006
- 24) 今井一貴・佐藤徹治：水害リスクを考慮した土地利

- 用施策評価のための将来時系列の人口分布推計モデルの開発:富山県富山市を対象として, 都市計画論文集, Vol.50, No.3, P656-662, 2015
- 25) 小池淳司・漆谷敏和・山崎清: 世代別立地行動を考慮した都市経済モデルの開発, 土木計画学発表会・講演集, Vol.41, CD-ROM, 2010
- 26) 山形与志樹・瀬谷創・中道久美子: 土地利用モデルを用いた東京都市圏の土地利用シナリオ分析, 環境科学会誌, Vol.24, No.3, P169-179, 2011
- 27) 林良嗣・富田安夫・奥田隆明: 住み替え潜在需要・顕在化・住宅タイプ選択・居住ゾーン選択のプロセスを組み込んだ住宅需要・立地分析モデル, 土木計画学研究・講演集, Vol.10, P259-266, 1987
- 28) 宮城俊彦・小川俊幸: 共役理論を基礎とした交通配分モデルについて, 土木計画学研究・講演集, Vol.7, P301-308, 1985
- 29) 平成 22 年度全国道路・街路交通情勢調査 (道路交通センサス) 一般交通量調査集計表, 国土交通省道路局企画課道路経済調査室
- 30) 森田匡俊, 鈴木克哉, 奥貫圭一: 日本の主要都市における直線距離と道路距離との比に関する実証的研究, Theory and Applications of GIS, Vol. 22, No.1, pp.1-7, 2014.
- (2016.?.? 受付)