
研究論文

プールモデルの投影精度に関する研究

小池 司 朗

本稿においては、都道府県別将来人口推計をロジャース・モデルによって行い、先に行われたプールモデル（単純プールモデル）による推計結果と比較したうえで、総人口ベースのODパターンを加味したプールモデル（ODプールモデル）により同様に都道府県別将来人口推計を行い、単純プールモデルと比較して投影精度が向上しているか否かを検証した。推計の結果、ロジャース・モデルと単純プールモデルの推計値の差は小さく、単純プールモデルの投影精度は良好であったが、単純プールモデルでは転入者の地域分布が考慮されていないことから、全域的な人口変化と主要な転入元となる地域の人口変化のパターンが異なる場合、ロジャース・モデルによる転入数および推計値との乖離はやや大きくなる傾向が認められた。続いて行ったODプールモデルによる推計値は、総じて単純プールモデルよりもロジャース・モデルによる推計値に近く、総人口ベースのODパターンを加味することによって、投影精度はさらに向上することが示唆された。実際の地域別将来人口推計への適用に際しては検討すべき課題が多く残されているものの、正確な投影精度と入手可能な人口移動統計の双方の観点から、ODプールモデルは有力な人口移動モデルのひとつと考えられる。

I. はじめに

近年の政府主導による地方創生施策のなかで、地方自治体は自地域の将来人口推計を行い、その結果が「地方版総合戦略」策定のための基礎資料として活用されるなど、地域別の将来人口推計に対する需要が高まってきている。実際の推計にあたっては多くの場合、推計結果の算出がさしあたりの目的となることから、とくに出生や人口移動の将来仮定をいかに設定するかに力点が置かれることが多いと思われる。この点は確かに重要であるが、推計手法の観点からみてより重要なのは、仮定設定に先立つモデル選択である。「地方人口ビジョン」作成のために、内閣官房「まち・ひと・しごと創生本部」から配布されたワークシートを活用すれば、将来仮定を設定することにより将来推計人口の結果自体は容易に算出されるが、推計値算出にあたっては出生・死亡・人口移動に関して特定のモデルが適用されていることに留意する必要がある。たとえば出生について、出生数の推計プロセスを経ずに0～4歳人口が推計される子ども女性比が適用されている点はモデル選択のひとつであり、ほかにも年齢別出生率の仮定を設定するなど様々なモデル選択の可能性が存在する（山内 2014）。

上記のワークシートでも採用されているコーホート要因法による将来人口推計では、出生・死亡・人口移動のモデル選択が必要となるが、地域別の将来人口推計において一般に最も大きな問題となるのが、人口移動に関するモデル選択である (Smith et al. 2013)。人口移動モデルは、大別すると単一地域モデルと多地域モデルがあるが、国立社会保障・人口問題研究所の地域別将来人口推計においては、入手可能な人口移動統計が限定的であるなどの理由により、これまでのところ単一地域モデルが採用されている (国立社会保障・人口問題研究所 2013)。しかし、単一地域モデルでは人口移動傾向の投影に歪みが生じるため (Rogers 1990)、理論的には人口移動を転入と転出に分解して推計することが可能な多地域モデルの適用が望ましい¹⁾ (小池 2008)。

こうした状況を受け、小池 (2015) においては多地域モデルの一種であるプールモデル²⁾を適用することによって都道府県別の将来人口推計を行い、多地域モデルの利点と適用に際しての課題等について考察した。しかし、人口移動傾向を完全な形で正確に投影可能なのは、多地域モデルのなかでも全地域間での男女年齢別転出率を仮定するロジャース・モデル³⁾ (Rogers 1995) であり、男女年齢別の転出率と配分率のみによって推計が行われるプールモデルによれば、正確な投影が行われるわけではないという点には留意する必要がある。この点については、既に都道府県別将来人口推計の結果から単一地域モデルと多地域モデルの投影の精度を検証した例があり (小池 2008)、プールモデルによれば全体としてロジャース・モデルに近い推計結果が得られることが示されている。ただ、小池 (2008) はロジャース・モデルによる推計結果を基準とした全域としての投影精度の検証にとどまっており、各地域において算出される移動数や投影精度の違いについてはほとんど触れられていない。一方海外では、様々な人口移動モデルによるオーストラリアの地域別将来人口推計結果とロジャース・モデルによる推計結果との比較分析を行った研究 (Wilson and Bell 2004) が存在し、プールモデルによる推計結果は、地域別にみてもロジャース・モデルによる推計結果に近いことが示されている。ただ、推計対象地域数が日本の都道府県よりも大幅に少ないことに加え⁴⁾、日本とは人口移動状況が大きく異なるため、都道府県別の将来人口推計にロジャース・モデルとプールモデルを適用した場合、地域によっては両モデルによる推計結果に大きな差が生じる可能性も考えられる。プールモデルにおいて全域的な投影精度が高かったとしても、各地域の投影精度に大きな違いがあるならば、モデルの適用には慎重な検討が必要というべきであろう。

本稿では小池 (2015) と同様、2010年を基準とした2060年までの都道府県別男女各歳別の将来人口推計をロジャース・モデルによって行い、各都道府県における推計結果を小池 (2015) において行ったプールモデルによる推計結果と比較するとともに、両推計結果の

1) 近年では、地域によって多地域モデルと単一地域モデルを使い分ける「複合モデル」の試みもみられる (飯塚 2015)。

2) 海外では、migrant pool model という表現が一般的である。

3) 海外では、multiregional model または multi-state model という表現が一般的であるが、本稿では多地域モデルの一種という観点からロジャース・モデルという表現を用いる。

4) Wilson and Bell (2004) では、6つの州と2つの特別地域の合計8地域における推計が行われている。

間に差がある都道府県についてはその要因を考察する。続いて、総人口ベースの OD パターンを考慮したプールモデルにより、同様に都道府県別男女各歳別の将来人口推計を行い、単純なプールモデルと比較して投影精度が向上しているか否かを検証する。将来的に、市区町村別の将来人口推計を多地域モデルで行うことを念頭に置いたとしても、全地域間で転出率を仮定するロジャース・モデルの適用は現実的とはいえないため、プールモデル等の適用を模索していくことになると考えられる⁵⁾。本稿ではその前段階として、仮定値の縮減がもたらすプールモデルの弱点を把握すると同時に、入手可能な人口移動統計と照らし合わせ、モデル改良の余地を検討することを主たる目的とする。

II. ロジャース・モデルとプールモデルの概要

ロジャース・モデルとプールモデルのそれぞれの概要については、Wilson and Bell (2004) や小池 (2008) 等で既に触れられているが、両モデルによる移動数の推計は本稿における最も重要な部分であるため、本節で若干の補足も含めて述べることにする。

まずロジャース・モデルでは、すべての推計期間および男女年齢において、転出先別の転出率仮定値が設定される。任意の推計期間・男女年齢における、ロジャース・モデルによる地域間移動数の推計式は下記のとおりである。

$$M_{i,j} = P_i \times m_{i,j}$$

ここで、 $M_{i,j}$: 地域 i から地域 j への移動数、 P_i : 地域 i の人口、 $m_{i,j}$: 地域 i から地域 j への転出率、である。最大のポイントとなるのが $m_{i,j}$ であり、通常は転出先別に別個の値が設定されるため、仮に N 個の地域があれば、すべての推計期間および男女年齢において $N(N-1)$ の転出率が必要となる⁶⁾。たとえば、本稿において行う都道府県別将来人口推計では、50 (年) \times 2 (男女) \times 91 (0 歳, 1 歳, \dots , 90 歳以上) = 9,100 の組み合わせについて、それぞれ $47 \times 46 = 2,162$ の転出率仮定値が必要ということになる。地域 i の転出数 ($M_{i,\#}$ とする) および転入数 ($M_{\#,i}$ とする) は、それぞれ $M_{i,j}$ および $M_{j,i}$ を i 以外のすべての j について足し上げることにより算出される⁷⁾。すなわち、

$$M_{i,\#} = \sum_{j \neq i} M_{i,j} \quad M_{\#,i} = \sum_{j \neq i} M_{j,i}$$

である。

ロジャース・モデルでは推計対象となる全地域間の転出率が設定されるのに対して、プー

5) ロジャース・モデルに必要な変数を縮約した種々のモデルに関しては、プールモデルも含め、Wilson and Rees (2005) において詳細にレビューされている。

6) 自地域内の移動は対象としない。したがって、すべての地域 i について、 $m_{i,i} = 0$ である。

7) 本稿では、数式中の添え字のシャープ (#) を集計値の意味で用いる。

ルモデルでは転出先を特定せず地域外への転出率のみが設定される (Alho and Spencer 2006). プールモデルによる転出数・転入数の推計は2段階で行われ、まず第1段階では各地域で設定された転出率 ($m_{i,\#}$) により転出数を推計し、それを全地域について足し上げてプール (Pool) とする。すなわち、任意の推計期間・男女年齢において、地域 i の転出数 ($M_{i,\#}$) は、

$$M_{i,\#} = P_i \times m_{i,\#}$$

$$Pool = \sum_i M_{i,\#}$$

となる。続いて第2段階で、配分率 (d_i) に基づきプールを各地域に転入数 ($M_{\#,i}$) として配分する。すなわち、

$$M_{\#,i} = Pool \times d_i = \sum_i M_{i,\#} \times d_i = \left(\sum_i P_i \times m_{i,\#} \right) \times d_i$$

$$\text{ただし、} \sum_i d_i = 1$$

である。以上のプロセスにより、任意の地域における転出数と転入数が推計される。

プールモデルによる転出数と転入数の算出は、上記の計算にしたがって行うのがわかりやすいが、見方を変えれば、プールモデルはロジャース・モデルの特殊形と捉えることができる (van de Gaag et al. 2000)。上記より、地域 i の「転入数-転出数」($M_{\#,i} - M_{i,\#}$) は次のように書き換えられる。

$$\begin{aligned} M_{\#,i} - M_{i,\#} &= \left(\sum_i P_i \times m_{i,\#} \right) \times d_i - P_i \times m_{i,\#} \\ &= \sum_{j \neq i} (P_j \times m_{j,\#} \times d_i) - P_i \times m_{i,\#} \times (1 - d_i) \\ &= \sum_{j \neq i} (P_j \times m_{j,i}) - \sum_{j \neq i} (P_i \times m_{i,j}) \end{aligned}$$

$$\text{ただし、} m_{i,j} = m_{i,\#} \times d_j$$

したがって、地域 i から地域 j への移動数 ($M_{i,j}$) を下式のように仮定しているのと同等であり、プールモデルがロジャース・モデルの特殊形であることがわかる。

$$M_{i,j} = P_i \times m_{i,j} = P_i \times m_{i,\#} \times d_j$$

地域 i から地域 j への転出率は地域 i の転出率と地域 j の配分率の積として表されるが、

これは出発地と到着地がすべて独立に扱われている（空間的な相関関係が捨象されている）ことを意味している（Rogers et al. 2010）。逆に言えば、プールモデルでは出発地と到着地をすべて独立に扱うことによって、推計に必要な仮定値を縮減させているという見方が可能である。上述のとおり、空間的な相関関係がすべて考慮されるロジャース・モデルでは、すべての推計期間および男女年齢において $N(N-1)$ の転出率仮定値が必要となるが、プールモデルに必要な仮定値は $2N$ 、つまり各地域における転出率と配分率のみとなる。都道府県別将来人口推計では、プールモデルで特定の推計期間・男女年齢において必要となる仮定値は $2 \times 47 = 94$ であり、ロジャース・モデルで必要となる仮定値（2,162）と比較すると、大幅に縮減される。プールモデルでは仮定値が縮減される分、推計計算に要するコストも削減される反面、人口移動傾向の正確な投影は行われないことになる。ちなみに、ヨーロッパ各国による地域別将来人口推計では、ロジャース・モデルが採用されている国が多いものの、スウェーデンやスペインなどではプールモデルが採用されていることが報告されている（Kupiszewski and Kupiszewska 2003）。

なお、多地域モデルでは通常国内人口移動のみが対象とされ、国際人口移動は国内人口移動とは別に推計が行われる（Smith et al. 2013）⁸⁾。今後わが国において多地域モデルを適用することを念頭に置いた場合に、国際人口移動をどのように仮定するかは大きな課題であるが、本稿ではモデル間の推計値の比較を第一の目的とするため、ロジャース・モデル、プールモデル双方において国際人口移動はゼロと仮定した。

Ⅲ. ロジャース・モデル構築のための準備作業

小池（2015）において活用した総務省統計局「住民基本台帳人口移動報告」（以下、「住基移動」）による2010年の都道府県別男女各歳別移動数の集計結果においては、都道府県別の転入数・転出数のみが表象されており、ODとしての移動数は表象されていないため、ロジャース・モデルを構築することができない。そこで、男女年齢各歳別の都道府県間ODを推定することにより、ロジャース・モデル構築に必要な変数を作成する。その手順を以下に示す。

「住基移動」では、男女別総数の都道府県間OD表は表象されているため、まずこれを利用して、仮に男女別のODパターンにしたがった場合に期待される男女年齢別都道府県間移動数を算出する。具体的には、男女年齢別の移動総数に、男女別の移動総数に占める都道府県間移動数の割合を乗じることにより、期待移動数を算出する。算出式は下記のとおりである。

$${}_{s,x}Ma(2010)_{i,j} = {}_{s,x}M(2010)_{\#,\#} \times \frac{{}_{s,\#}M(2010)_{i,j}}{{}_{s,\#}M(2010)_{\#,\#}}$$

8) 多地域モデルを国際人口移動に適用する試み（Raymer et al. 2012）もみられる。

ここで、 ${}_{s,x}Ma(2010)_{i,j}$ ：仮に男女別 OD パターンにしたがった場合に期待される2010年の性 s 、年齢 x 歳の都道府県 i から都道府県 j への移動数、 ${}_{s,x}M(2010)_{\#,\#}$ ：2010年の性 s 、年齢 x 歳の移動総数、 ${}_{s,\#}M(2010)_{\#,\#}$ ：2010年の性 s の移動総数、 ${}_{s,\#}M(2010)_{i,j}$ ：2010年の性 s の都道府県 i から都道府県 j への移動数、である。

当然ながら、男女年齢別の OD パターンは男女別総数ベースでの OD パターンとは異なるため、 ${}_{s,x}Ma(2010)_{i,j}$ をすべての都道府県 j について足し上げて性 s 、年齢 x 歳の都道府県 i の転出数 (${}_{s,x}M(2010)_{i,\#}$) に合致せず、また ${}_{s,x}Ma(2010)_{i,j}$ をすべての都道府県 i について足し上げて性 s 、年齢 x 歳の都道府県 j の転入数 (${}_{s,x}M(2010)_{\#,j}$) には合致しない。そこで、 ${}_{s,x}Ma(2010)_{i,j}$ を初期値、 ${}_{s,x}M(2010)_{i,\#}$ と ${}_{s,x}M(2010)_{\#,j}$ をそれぞれ横計・縦計の制約条件とした繰り返し比例補正を行うことによって、横計・縦計がそれぞれ ${}_{s,x}M(2010)_{i,\#}$ と ${}_{s,x}M(2010)_{\#,j}$ に合致し、OD 表として矛盾のない ${}_{s,x}M(2010)_{i,j}$ (以下、 ${}_{s,x}Me(2010)_{i,j}$ とする) を得ることができる。 ${}_{s,x}Me(2010)_{i,j}$ の推定に至るまでの流れを図1に示す⁹⁾。

図1 男女年齢別都道府県間移動数推定のフロー図

2010年「住基台帳」による性 s 、年齢 x 歳の移動集計

		到着地			計
		北海道	〇〇県	沖縄県	
出発地	北海道	—			${}_{s,x}M_{i,\#}$
	〇〇県		—		${}_{s,x}M_{i,\#}$
	沖縄県			—	${}_{s,x}M_{47,\#}$
計		${}_{s,x}M_{\#,1}$	${}_{s,x}M_{\#,i}$	${}_{s,x}M_{\#,47}$	${}_{s,x}M_{\#,\#}$

非公表

2010年「住基台帳」による性 s の移動集計

		到着地			計
		北海道	〇〇県	沖縄県	
出発地	北海道	—	${}_{s,\#}M_{1,j}$	${}_{s,\#}M_{1,47}$	${}_{s,\#}M_{1,\#}$
	〇〇県	${}_{s,\#}M_{i,1}$	—	${}_{s,\#}M_{i,47}$	${}_{s,\#}M_{i,\#}$
	沖縄県	${}_{s,\#}M_{47,1}$	${}_{s,\#}M_{47,i}$	—	${}_{s,\#}M_{47,\#}$
計		${}_{s,\#}M_{\#,1}$	${}_{s,\#}M_{\#,i}$	${}_{s,\#}M_{\#,47}$	${}_{s,\#}M_{\#,\#}$

$${}_{s,x}Ma_{i,j} = {}_{s,x}M_{\#,\#} \times \frac{{}_{s,\#}M_{i,j}}{{}_{s,\#}M_{\#,\#}}$$

として初期値算出

		到着地			計
		北海道	〇〇県	沖縄県	
出発地	北海道	—	${}_{s,x}Ma_{1,j}$	${}_{s,x}Ma_{1,47}$	${}_{s,x}M_{1,\#}$
	〇〇県	${}_{s,x}Ma_{i,1}$	—	${}_{s,x}Ma_{i,47}$	${}_{s,x}M_{i,\#}$
	沖縄県	${}_{s,x}Ma_{47,1}$	${}_{s,x}Ma_{47,i}$	—	${}_{s,x}M_{47,\#}$
計		${}_{s,x}M_{\#,1}$	${}_{s,x}M_{\#,i}$	${}_{s,x}M_{\#,47}$	${}_{s,x}M_{\#,\#}$

繰り返し比例補正

		到着地			計
		北海道	〇〇県	沖縄県	
出発地	北海道	—	${}_{s,x}Me_{1,j}$	${}_{s,x}Me_{1,47}$	${}_{s,x}M_{1,\#}$
	〇〇県	${}_{s,x}Me_{i,1}$	—	${}_{s,x}Me_{i,47}$	${}_{s,x}M_{i,\#}$
	沖縄県	${}_{s,x}Me_{47,1}$	${}_{s,x}Me_{47,i}$	—	${}_{s,x}M_{47,\#}$
計		${}_{s,x}M_{\#,1}$	${}_{s,x}M_{\#,i}$	${}_{s,x}M_{\#,47}$	${}_{s,x}M_{\#,\#}$

$$\sum_j {}_{s,x}Ma_{i,j} \neq {}_{s,x}M_{i,\#}$$

$$\sum_i {}_{s,x}Ma_{i,j} \neq {}_{s,x}M_{\#,j}$$

$$\sum_j {}_{s,x}Me_{i,j} = {}_{s,x}M_{i,\#}$$

$$\sum_i {}_{s,x}Me_{i,j} = {}_{s,x}M_{\#,j}$$

9) 煩雑な表現を避けるため、図1では(2010)をすべて省略して記している。

ここで留意しなければならないのは、推定された ${}_{s,x}Me(2010)_{i,j}$ は OD 表として矛盾のない値であるが、無数にあり得る解のひとつということである。ただ、男女別総数ベースの OD 表から得られる期待値 (${}_{s,x}Ma(2010)_{i,j}$) を初期値として、それを年齢別の移動状況に応じて補正する形で推定を行っているため、実際値から大きくかけ離れている可能性は低く、本稿の目的のひとつであるロジャース・モデルとプールモデルによる推計結果の違いの検証には十分な精度の値であると考えられる。なお、OD 表の値を推定すること自体が目的であるならば、 ${}_{s,x}Me(2010)_{i,j}$ は最終的に整数化する必要があると考えられるが、モデル間の推計値比較という目的に鑑みれば整数化の意義は小さく、小数点以下を残した値のままとした。

IV. 推計の枠組みと推計式

本稿では、小池（2015）と同じ枠組みにより都道府県別の将来人口推計を行った。すなわち、2010年の国勢調査による都道府県別男女各歳別人口（年齢不詳按分）を基準として2060年まで各年10月1日現在の人口を男女年齢各歳別に推計した。最高年齢階級は、「住基移動」の年齢別集計の表象に合わせて「90歳以上」とした。また前述のとおり、国際人口移動はゼロと仮定している。

出生と死亡の仮定も小池（2015）と同様とした。出生については、2010年の人口動態統計による都道府県別各歳別出生数を分子、同年の国勢調査による都道府県別女子各歳別日本人口（年齢不詳按分）を分母として算出した出生率を2060年まで一定とした。15～49歳の女子を出生率の計算対象とし、14歳以下・50歳以上および年齢不詳からの出生数は非常に少ないため除外した。なお出生性比は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」（国立社会保障・人口問題研究所 2012：以下、社人研全国推計）と同様、105.5とした。男女別出生数の推計式は下記のとおりである。

$$\begin{aligned}
 {}_mB(t)_i &= \sum_{x=15}^{49} \left(\frac{1}{2} \times ({}_{f,x}P(t)_i + {}_{f,x}P(t+1)_i) \right) \times {}_x b_i \times \frac{105.5}{205.5} \\
 {}_fB(t)_i &= \sum_{x=15}^{49} \left(\frac{1}{2} \times ({}_{f,x}P(t)_i + {}_{f,x}P(t+1)_i) \right) \times {}_x b_i \times \frac{100.0}{205.5}
 \end{aligned}$$

ここで、 ${}_mB(t)_i$ ：都道府県 i ・ $t \sim t+1$ 年の男児出生数、 ${}_fB(t)_i$ ：都道府県 i ・ $t \sim t+1$ 年の女児出生数、 ${}_{f,x}P(t)_i$ ：都道府県 i ・ t 年・女子年齢 x 歳人口、 ${}_x b_i$ ：都道府県 i ・女子年齢 x 歳からの出生率、である。死亡については、2010年の「都道府県別生命表」から算出される都道府県別男女各歳別生残率を基準とし、社人研全国推計で作成されている各年別将来生命表（死亡中位推計）から算出される全国が生残率上昇と連動する形で生残率が上昇すると仮定した。

一方、人口移動に関しては2010年国勢調査と同年の「住基移動」を用いて算出される男女各歳別転出率等を2060年まで一定とするが、ロジャース・モデルとプールモデルの間で

推計計算式が異なる。ロジャース・モデルによれば、1歳以上人口の推計式は下記のとおりである。

$${}_{s,x+1}P(t+1)_i = {}_{s,x}P(t)_i \times ({}_{s,x}v(t)_i - \sum_{j \neq i} {}_{s,x+1}m(2010)_{i,j}) + \sum_{j \neq i} ({}_{s,x}P(t)_j \times {}_{s,x+1}m(2010)_{j,i})$$

$$\text{ただし, } {}_{s,x+1}m(2010)_{i,j} = \frac{{}_{s,x+1}Me(2010)_{i,j}}{{}_{s,x+1}PJ(2010)_i}$$

ここで、 ${}_{s,x}P(t)_i$ ：都道府県 i ・ t 年・性 s ・年齢 x 歳人口、 ${}_{s,x}v(t)_i$ ：都道府県 i ・ $t \rightarrow t+1$ 年・性 s ・年齢 $x \rightarrow x+1$ 歳の生残率、 ${}_{s,x+1}PJ(2010)_i$ ：2010年国勢調査による都道府県 i ・性 s ・年齢 $x+1$ 歳の日本人口、 ${}_{s,x+1}Me(2010)_{i,j}$ ：Ⅲ節で推定した2010年・性 s ・年齢 $x+1$ 歳における都道府県 i から都道府県 j への転出数、である。 ${}_{s,x+1}m(2010)_{i,j}$ は、2010年における性 s ・年齢 $x+1$ 歳の都道府県 i から都道府県 j への転出率であり¹⁰⁾、 ${}_{s,x}P(t)_i$ との積和が当該性年齢における転出数である。また、右辺第2項のシグマのなかには都道府県 j から都道府県 i への転出数を表しており、これを i 以外のすべての j について足し上げるにより、当該性年齢における全都道府県から都道府県 i への転出数、すなわち都道府県 i の転入数が算出される。

一方、プールモデルによる1歳以上人口の推計式は下記のとおりである。

$${}_{s,x+1}P(t+1)_i = {}_{s,x}P(t)_i \times ({}_{s,x}v(t)_i - {}_{s,x+1}m(2010)_{i,\#}) + {}_{s,x+1}Pool(t) \times {}_{s,x+1}d(2010)_j$$

$$\text{ただし, } {}_{s,x+1}m(2010)_{i,\#} = \frac{{}_{s,x+1}M(2010)_{i,\#}}{{}_{s,x+1}PJ(2010)_i}$$

$${}_{s,x+1}Pool(t) = \sum_i ({}_{s,x}P(t)_i \times {}_{s,x+1}m(2010)_{i,\#})$$

ここで、 ${}_{s,x+1}M(2010)_{i,\#}$ ：2010年「住基移動」による性 s ・年齢 $x+1$ 歳の都道府県 i からの国内転出総数、 ${}_{s,x+1}d(2010)_i$ ：2010年「住基移動」から求められる性 s ・年齢 $x+1$ 歳の国内転出総数（転入総数）に占める都道府県 i の転入数の割合（配分率）、である。 ${}_{s,x+1}m(2010)_{i,\#}$ は、2010年における性 s ・年齢 $x+1$ 歳の都道府県 i からの国内転出率であり、これに ${}_{s,x}P(t)_i$ を乗じた値が当該性年齢における都道府県 i の転出数である。また、転出数をすべての都道府県について足し上げたのが ${}_{s,x+1}Pool(t)$ であり、これに仮定された配分率（ ${}_{s,x+1}d(2010)_i$ ）を乗じるにより、当該性年齢における都道府県 i の転入数が算出される。なお、0歳人口の推計については、推計の基準となる人口が出生数に置き換わる（ ${}_{s,x}P(t)_i$ が ${}_sB(t)_i$ に置き換わる）だけなので、式の記載を割愛する。

10) 転出先別転出率は日本人に関する値を設定しており、これに外国人を含む人口を乗じて転出先別転出数を算出している。したがって本推計における転出数・転入数は、外国人について日本人と同じ転出先別転出率を仮定した場合の外国人を含んだ転出数・転入数とみなすことができる。後述のプールモデルによる転出数・転入数算出も同様の考え方に基づく。

ロジャース・モデルにおける転出先別の転出率，およびプールモデルにおける転出率・配分率は，いずれも2010年国勢調査と同年の「住基移動」から算出された値を2060年まで一定と仮定しており，出生・死亡の仮定も両モデルで同一であることから，両モデル間の推計値の違いは人口移動モデルの違いのみに起因することになる。

V. 推計結果の比較と考察

ロジャース・モデルとプールモデルによる2060年の都道府県別将来人口の推計結果，および2010年の総人口を100とした場合の2060年のロジャース・モデルとプールモデルの総人口指数と指数の差を表1に示す。本表によれば，全体としてプールモデルによる推計値はロジャース・モデルによる推計値と近く，推計値の指数の差は-1.2（埼玉県）から+2.9（宮城県）の間の狭いレンジに収まっている。また表2は，ロジャース・モデルとプールモデルによる2060年の年齢3区分別人口割合およびその差を示したものであるが，東北地方の各県において若干の乖離がみられるほかは，両モデルの間にほとんど差がない。男女年齢各歳別の転出先別転出率を転出率と配分率という形に縮約したとしても，少なくとも都道府県別には投影精度がきわめて良好であることが改めて示されたといえる。ちなみに，全都道府県の推計人口の合計がわずかに異なっている（2060年のプールモデルによる推計値がロジャース・モデルによる推計値を2,462人上回る）のは，モデルの違いに起因する移動数の差が人口分布の差をもたらし，両モデル間で地域別の出生数および死亡数が若干変化するためである。

ただし，留意すべき点がないわけではない。総人口指数の差の都道府県別分布をみると，宮城県をはじめとして，岩手県（+1.7），青森県（+1.2）など東北地方で比較的高いプラス方向の乖離がみられるのに対して，埼玉県のほか千葉県（-1.2），神奈川県（-1.0）と東京都以外の東京圏各県においてはややマイナス方向の乖離がみられる。こうした乖離が発生する主因は，両モデルにおいて推計される転出数と転入数の違いによる。2011年の転出数・転入数を100とした2060年の転出数・転入数の指数をロジャース・モデルとプールモデル間で比較すると（表3）¹¹⁾，転出数・転入数とも大幅に減少する傾向には違いがないが，転出数と転入数の指数の差を比較すると，その差が総じて大きいのは転入数である。ロジャース・モデルとプールモデルでは，転出数に関しては同じ転出率を用いて推計しているが¹²⁾，転入数の推計方法が異なる。ただし，推計される転入数が両モデル間で異なることにより，転出率に乗じられる人口が異なり，転出数にも違いが生じるようになる。表3によれば，転出数の指数の差は転入数の指数の差に概ね連動しており，プールモデルで転入数がより多く推計される東北地方の各県などでは，人口規模が大きくなることにより，転出数も多く推計される傾向がある。

11) 正確には，2011年は2010年10月～2011年9月，2060年は2059年10月～2060年9月にそれぞれ発生する移動数である。

12) ロジャース・モデルによる転出先別転出率をすべての転出先について足し上げると，プールモデルによる転出率と同じ値になる。

表1 プールモデル, ロジャース・モデルによる2060年の都道府県別総人口推計値, 指数(2010年=100)およびその差

	2010年 総人口(人)	2060年総人口(人)		2060年指数		2060年 指数の差
		プール	ロジャース	プール	ロジャース	
全国	128,057,352	88,461,756	88,459,294	69.1	69.1	0.0
北海道	5,506,419	3,229,583	3,242,177	58.7	58.9	-0.2
青森県	1,373,339	712,988	696,755	51.9	50.7	1.2
岩手県	1,330,147	717,247	694,981	53.9	52.2	1.7
宮城県	2,348,165	1,636,512	1,568,673	69.7	66.8	2.9
秋田県	1,085,997	506,258	494,562	46.6	45.5	1.1
山形県	1,168,924	630,382	617,002	53.9	52.8	1.1
福島県	2,029,064	1,157,065	1,146,900	57.0	56.5	0.5
茨城県	2,969,770	2,013,977	2,029,823	67.8	68.3	-0.5
栃木県	2,007,683	1,313,594	1,315,088	65.4	65.5	-0.1
群馬県	2,008,068	1,278,502	1,282,866	63.7	63.9	-0.2
埼玉県	7,194,556	5,469,194	5,556,975	76.0	77.2	-1.2
千葉県	6,216,289	4,700,785	4,774,118	75.6	76.8	-1.2
東京都	13,159,388	10,706,321	10,703,506	81.4	81.3	0.0
神奈川県	9,048,331	7,058,712	7,152,433	78.0	79.0	-1.0
新潟県	2,374,450	1,385,316	1,387,441	58.3	58.4	-0.1
富山県	1,093,247	664,698	663,850	60.8	60.7	0.1
石川県	1,169,788	779,796	775,291	66.7	66.3	0.4
福井県	806,314	504,108	504,036	62.5	62.5	0.0
山梨県	863,075	530,967	538,541	61.5	62.4	-0.9
長野県	2,152,449	1,338,016	1,350,494	62.2	62.7	-0.6
岐阜県	2,080,773	1,304,491	1,322,395	62.7	63.6	-0.9
静岡県	3,765,007	2,435,946	2,463,064	64.7	65.4	-0.7
愛知県	7,410,719	5,593,554	5,569,279	75.5	75.2	0.3
三重県	1,854,724	1,204,828	1,211,200	65.0	65.3	-0.3
滋賀県	1,410,777	1,125,403	1,119,972	79.8	79.4	0.4
京都府	2,636,092	1,802,229	1,799,981	68.4	68.3	0.1
大阪府	8,865,245	6,130,808	6,094,894	69.2	68.8	0.4
兵庫県	5,588,133	3,810,506	3,807,248	68.2	68.1	0.1
奈良県	1,400,728	883,981	881,622	63.1	62.9	0.2
和歌山県	1,002,198	558,208	557,952	55.7	55.7	0.0
鳥取県	588,667	352,385	347,500	59.9	59.0	0.8
島根県	717,397	408,861	403,942	57.0	56.3	0.7
岡山県	1,945,276	1,297,585	1,286,104	66.7	66.1	0.6
広島県	2,860,750	1,973,469	1,951,803	69.0	68.2	0.8
山口県	1,451,338	837,073	834,322	57.7	57.5	0.2
徳島県	785,491	448,271	442,484	57.1	56.3	0.7
香川県	995,842	624,781	611,312	62.7	61.4	1.4
愛媛県	1,431,493	843,492	835,677	58.9	58.4	0.5
高知県	764,456	432,706	427,207	56.6	55.9	0.7
福岡県	5,071,968	3,739,544	3,683,065	73.7	72.6	1.1
佐賀県	849,788	548,248	544,743	64.5	64.1	0.4
長崎県	1,426,779	816,539	818,125	57.2	57.3	-0.1
熊本県	1,817,426	1,205,115	1,198,350	66.3	65.9	0.4
大分県	1,196,529	742,803	740,875	62.1	61.9	0.2
宮崎県	1,135,233	711,346	707,077	62.7	62.3	0.4
鹿児島県	1,706,242	1,069,729	1,070,940	62.7	62.8	-0.1
沖縄県	1,392,818	1,225,836	1,232,651	88.0	88.5	-0.5

注1: 2010年総人口は国勢調査による。

注2: プールモデルによる推計値は小池(2015)による。

表2 プールモデル, ロジャース・モデルによる都道府県別年齢3区分別人口割合
およびその差 (2060年)

	プール			ロジャース			差 (プール-ロジャース)		
	0~14歳	15~64歳	65歳~	0~14歳	15~64歳	65歳~	0~14歳	15~64歳	65歳~
全国	9.88	50.75	39.37	9.88	50.75	39.37	0.00	0.00	0.00
北海道	8.37	47.62	44.01	8.37	47.58	44.05	0.00	0.03	-0.04
青森県	9.07	48.47	42.47	8.88	47.85	43.27	0.19	0.62	-0.81
岩手県	9.06	47.49	43.45	8.81	46.72	44.47	0.26	0.77	-1.03
宮城県	9.45	50.63	39.92	9.17	49.85	40.97	0.28	0.78	-1.06
秋田県	8.11	45.68	46.21	7.91	44.99	47.10	0.21	0.69	-0.89
山形県	9.32	47.39	43.29	9.12	46.78	44.10	0.21	0.60	-0.81
福島県	9.49	48.16	42.35	9.38	47.80	42.82	0.11	0.36	-0.47
茨城県	9.70	49.88	40.41	9.73	49.86	40.41	-0.03	0.02	0.01
栃木県	9.68	50.24	40.09	9.66	50.14	40.20	0.02	0.09	-0.11
群馬県	9.66	49.36	40.98	9.67	49.31	41.02	-0.01	0.05	-0.04
埼玉県	9.72	51.88	38.40	9.76	51.88	38.36	-0.04	0.00	0.04
千葉県	9.79	51.03	39.19	9.83	51.02	39.15	-0.04	0.01	0.03
東京都	8.90	54.76	36.34	8.91	54.75	36.34	-0.01	0.01	0.00
神奈川県	9.62	52.11	38.28	9.66	52.12	38.22	-0.04	-0.02	0.06
新潟県	9.23	47.78	42.99	9.22	47.71	43.07	0.02	0.06	-0.08
富山県	9.01	48.30	42.69	8.98	48.33	42.69	0.03	-0.03	0.00
石川県	9.79	50.02	40.19	9.75	50.04	40.21	0.04	-0.02	-0.02
福井県	10.51	48.51	40.98	10.49	48.57	40.94	0.02	-0.06	0.04
山梨県	9.50	47.77	42.73	9.54	47.83	42.63	-0.04	-0.06	0.10
長野県	9.51	46.49	44.00	9.55	46.53	43.92	-0.04	-0.04	0.08
岐阜県	10.23	49.03	40.74	10.33	49.28	40.39	-0.10	-0.25	0.35
静岡県	10.16	49.24	40.60	10.23	49.35	40.42	-0.06	-0.11	0.18
愛知県	10.91	52.51	36.58	10.90	52.56	36.53	0.01	-0.05	0.04
三重県	10.35	49.72	39.93	10.40	49.87	39.73	-0.05	-0.16	0.20
滋賀県	11.02	50.96	38.03	11.00	51.03	37.96	0.01	-0.08	0.06
京都府	9.58	50.79	39.64	9.57	50.93	39.50	0.01	-0.14	0.13
大阪府	9.83	52.38	37.79	9.83	52.47	37.70	0.01	-0.09	0.08
兵庫県	10.36	50.65	38.99	10.35	50.74	38.91	0.01	-0.09	0.08
奈良県	9.70	49.03	41.27	9.69	49.18	41.13	0.00	-0.15	0.14
和歌山県	10.19	48.39	41.42	10.18	48.50	41.32	0.01	-0.11	0.10
鳥取県	9.66	47.57	42.77	9.64	47.62	42.73	0.02	-0.06	0.04
島根県	10.23	46.31	43.47	10.20	46.34	43.46	0.03	-0.03	0.01
岡山県	10.70	49.92	39.37	10.69	49.99	39.32	0.01	-0.07	0.06
広島県	10.65	49.77	39.58	10.63	49.78	39.59	0.03	-0.01	-0.01
山口県	10.14	48.53	41.33	10.19	48.69	41.12	-0.05	-0.16	0.21
徳島県	9.39	47.67	42.94	9.35	47.72	42.93	0.04	-0.05	0.01
香川県	10.29	48.71	41.00	10.20	48.62	41.18	0.09	0.09	-0.18
愛媛県	9.91	47.83	42.26	9.88	47.86	42.26	0.03	-0.03	0.00
高知県	8.85	47.32	43.84	8.81	47.34	43.85	0.04	-0.02	-0.01
福岡県	10.77	51.10	38.13	10.75	51.09	38.16	0.02	0.01	-0.03
佐賀県	11.40	49.12	39.48	11.43	49.16	39.41	-0.03	-0.04	0.07
長崎県	10.55	47.15	42.31	10.62	47.32	42.07	-0.07	-0.17	0.24
熊本県	11.01	48.17	40.83	11.03	48.21	40.75	-0.02	-0.05	0.07
大分県	10.15	47.75	42.10	10.19	47.86	41.96	-0.04	-0.10	0.15
宮崎県	11.08	47.26	41.66	11.10	47.31	41.60	-0.02	-0.04	0.06
鹿児島県	10.89	47.32	41.79	10.95	47.45	41.60	-0.06	-0.13	0.19
沖縄県	13.53	50.26	36.21	13.56	50.32	36.12	-0.03	-0.06	0.09

注：プールモデルによる推計値は小池（2015）による。

表3 プールモデル, ロジャース・モデルによる2060年の転出数・転入数の指数
(2011年=100) およびその差

	転出数の指数		転出数の 指数の差	転入数の指数		転入数の 指数の差
	プール	ロジャース		プール	ロジャース	
全国	57.2	56.8	0.4	57.2	56.8	0.4
北海道	45.5	45.3	0.3	56.8	57.3	-0.5
青森県	41.4	39.5	1.9	55.9	52.8	3.1
岩手県	42.7	40.1	2.6	56.8	52.3	4.4
宮城県	53.6	49.9	3.7	56.2	50.8	5.4
秋田県	37.3	35.4	1.9	56.6	53.2	3.5
山形県	43.6	41.6	2.0	56.7	53.3	3.4
福島県	45.6	44.2	1.3	57.3	55.7	1.7
茨城県	54.0	54.0	0.0	58.7	59.5	-0.8
栃木県	52.1	51.7	0.4	57.2	57.1	0.2
群馬県	52.0	51.8	0.2	57.2	57.4	-0.2
埼玉県	61.4	61.7	-0.4	58.1	59.2	-1.1
千葉県	61.1	61.5	-0.4	58.0	59.0	-1.1
東京都	65.2	64.7	0.5	56.4	56.4	0.0
神奈川県	62.0	62.3	-0.3	57.4	58.3	-0.8
新潟県	47.6	47.1	0.5	56.5	56.3	0.2
富山県	50.4	50.0	0.3	55.8	55.1	0.7
石川県	54.1	53.6	0.5	55.5	54.1	1.4
福井県	52.5	52.2	0.3	56.8	56.2	0.6
山梨県	49.7	50.0	-0.3	58.1	59.5	-1.4
長野県	50.5	50.7	-0.1	58.0	58.8	-0.9
岐阜県	51.5	52.2	-0.7	56.9	58.3	-1.5
静岡県	53.4	53.9	-0.5	57.5	58.7	-1.2
愛知県	60.6	60.2	0.4	56.4	55.1	1.3
三重県	54.3	54.4	-0.2	57.5	57.7	-0.2
滋賀県	63.5	62.8	0.6	57.9	56.4	1.5
京都府	55.7	55.4	0.3	57.4	56.8	0.6
大阪府	58.6	57.9	0.7	57.9	56.5	1.4
兵庫県	57.7	57.2	0.5	58.0	57.2	0.8
奈良県	53.4	52.7	0.7	60.1	58.8	1.3
和歌山県	49.9	49.4	0.5	59.4	58.6	0.8
鳥取県	48.4	47.5	0.9	57.7	55.2	2.5
島根県	49.0	48.2	0.8	57.7	55.7	2.0
岡山県	56.2	55.5	0.7	57.0	55.3	1.8
広島県	57.1	56.2	0.9	56.5	54.6	1.9
山口県	50.6	50.4	0.2	57.5	56.8	0.8
徳島県	46.9	46.1	0.8	57.8	55.4	2.4
香川県	52.9	51.4	1.5	56.3	53.4	2.9
愛媛県	50.4	49.5	0.9	57.5	55.5	1.9
高知県	47.3	46.5	0.8	57.2	55.1	2.1
福岡県	60.1	59.0	1.2	56.9	54.8	2.1
佐賀県	54.6	53.9	0.7	57.0	56.2	0.9
長崎県	47.2	47.2	0.0	57.0	57.2	-0.2
熊本県	55.1	54.5	0.6	57.2	56.2	0.9
大分県	51.5	51.1	0.4	57.2	56.7	0.5
宮崎県	51.9	51.4	0.4	57.1	56.3	0.8
鹿児島県	51.7	51.6	0.1	57.9	57.9	0.0
沖縄県	68.3	68.6	-0.4	55.5	56.2	-0.7

注：プールモデルによる推計値は小池（2015）による。

プールモデルによる推計において、たとえば宮城県で転入数が多く推計されるのは、各モデルの転入数の推計方法と宮城県への転入者の地域分布が大きく関連している。すなわち、ロジャース・モデルでは空間的な相関関係が考慮されるため、転入者の地域分布がすべて算出される反面、プールモデルでは、出発地と到着地が独立と仮定されているなかで転入数の推計が行われるため、転入者の地域分布は考慮されない。宮城県の人口移動状況を概観すると、近隣の東北地方各県からの転入が大半を占めるが、その東北地方各県では大幅な人口減少が見込まれている。ロジャース・モデルでは、近隣県の人口減少が宮城県の転入数減少に反映されるが、プールモデルでは全体としての転出数変化のみが転入数算出に関係するため、近隣県の人口減少が宮城県の転入数減少に直接的に反映されることはない。したがって宮城県では、プールモデルによればロジャース・モデルよりも転入数が多く推計されると同時に、人口も多く推計される。一方、埼玉県・千葉県・神奈川県では東京都を中心とする東京圏からの転入が大半を占めるが、東京圏では他地域と比較して人口減少が緩やかに進行するため、プールモデルによればロジャース・モデルよりも転入数が少なく推計されると同時に、人口も少なく推計される。東京都では、人口減少が緩やかな埼玉県・千葉県・神奈川県や人口減少率の高い東北地方など全国各地から転入が発生するため、人口分布の影響は相殺され、ロジャース・モデルとプールモデルで推計される転入数はほぼ同じとなる。

要するに、プールモデルでは転入者の地域分布が考慮されないことから、全域的な人口変化と主要な転入元となる地域の人口変化のパターンが異なる場合、ロジャース・モデルによる転入数および推計人口との乖離はやや大きくなる傾向がある。この点は、地域別将来人口推計にプールモデルを適用する際の主な留意点といえよう。では、プールモデルの枠組みを維持しながら、投影精度をさらに向上させることは可能であろうか。次節で検討する。

VI. OD プールモデルによる推計と考察

1. 推計手法

プールモデルによる推計値が、地域によってロジャース・モデルによる推計値からやや乖離する主たる要因は、上述のように転入者の地域分布が考慮されていないことによる。この点に関しては、van Imhoff et al. (1997) において既に指摘されており、プールモデルに総数ベースの OD パターンを加味することによって、投影精度がさらに向上することが示唆されている。本節では、van Imhoff et al. (1997) の研究成果に基づき、総数ベースの OD をもとにプールモデルの配分率を推計期間中に変化させることによって推計値を算出し（以下、OD プールモデルとする）、先に行ったプールモデル（以下、単純プールモデルとする）およびロジャース・モデルによる推計値と比較する。以下、OD プールモデルについて説明する。

まず、基準となる2010年の都道府県 i の総数ベースの配分率 $(\sum_{j \neq i} d(2010))_i$ は、下記の

ように表せる。

$${}_{\#\#}d(2010)_i = \frac{{}_{\#\#}M(2010)_{\#\#i}}{{}_{\#\#}M(2010)_{\#\#}} = \frac{\sum_{j \neq i} ({}_{\#\#}P(2010)_j \times {}_{\#\#}m'(2010)_{j,i})}{\sum_i \sum_{j \neq i} ({}_{\#\#}P(2010)_j \times {}_{\#\#}m'(2010)_{j,i})}$$

$$\text{ただし, } {}_{\#\#}m'(2010)_{j,i} = \frac{{}_{\#\#}M(2010)_{j,i}}{{}_{\#\#}P(2010)_j}$$

ここに、 ${}_{\#\#}M(2010)_{\#\#i}$ ：2010年「住基移動」による都道府県*i*の転入総数、 ${}_{\#\#}M(2010)_{\#\#}$ ：2010年「住基移動」による都道府県間移動総数、 ${}_{\#\#}P(2010)_j$ ：2010年国勢調査による都道府県*j*の総人口、 ${}_{\#\#}M(2010)_{j,i}$ ：2010年「住基移動」による都道府県*j*から都道府県*i*への移動総数、である¹³⁾。

${}_{\#\#}m'(2010)_{j,i}$ を推計期間中一定と仮定すると、推計期間中の*t*年における都道府県*i*の総数ベースの配分率 (${}_{\#\#}d(t)_i$) は、次のように表せる。

$${}_{\#\#}d(t)_i = \frac{{}_{\#\#}M(t)_{\#\#i}}{{}_{\#\#}M(t)_{\#\#}} = \frac{\sum_{j \neq i} ({}_{\#\#}P(t)_j \times {}_{\#\#}m'(2010)_{j,i})}{\sum_i \sum_{j \neq i} ({}_{\#\#}P(t)_j \times {}_{\#\#}m'(2010)_{j,i})}$$

${}_{\#\#}m'(2010)_{j,i}$ を一定と仮定しても、都道府県*j*の*t*年総人口推計値 (${}_{\#\#}P(t)_j$) が2010年総人口 (${}_{\#\#}P(2010)_j$) から変化することにより、 ${}_{\#\#}d(t)_i$ も ${}_{\#\#}d(2010)_i$ から変化していく。そこで、*t*年都道府県*i*の性*s*、年齢*x*歳の配分率 (${}_{s,x}d(t)_i$) を次のように定義する。

$${}_{s,x}d(t)_i = {}_{s,x}d(2010)_i \times \frac{{}_{\#\#}d(t)_i}{{}_{\#\#}d(2010)_i} \times {}_{s,x}k(t) = {}_{s,x}d(2010)_i \times {}_{\#\#}dr(t)_i \times {}_{s,x}k(t)$$

$$\text{ただし, } {}_{\#\#}dr(t)_i = \frac{{}_{\#\#}d(t)_i}{{}_{\#\#}d(2010)_i}$$

${}_{s,x}d(t)_i$ は、総数ベースでの2010年と*t*年の配分率の比 (${}_{\#\#}dr(t)_i$ ；以下、*t*年の配分率比とする) を、すべての性年齢に一律に適用した値となる。 ${}_{s,x}k(t)$ は ${}_{s,x}d(t)_i$ の都道府県合計を1にするための調整値である。以上のように推計期間中に配分率を変化させ、その他の仮定はすべて先の単純プールモデルと同一としたODプールモデルを2060年までの都道府県別将来人口推計に適用した。

13) 2010年の総数ベースでの都道府県*j*から都道府県*i*への転出率を表す ${}_{\#\#}m'(2010)_{j,i}$ は、日本人の転出数を分子、外国人を含む総人口を分母としているため、ダッシュ（'）を付与している。

2. 推計結果と考察

表4は、2010年の総人口を100とした2060年の総人口指数、2060年の65歳以上人口割合、および2011年の転出数・転入数を100とした2060年の転出数・転入数の指数のロジャース・モデルとの差について、単純プールモデルとODプールモデルとを比較したものである。まず総人口の指数は、ODプールモデルにおいて-0.5（滋賀県）～+0.8（宮城県）の間に収まり、単純プールモデルにおける指数の範囲（-1.2～+2.9）よりも大幅に狭まった。ODプールモデルでは、東北地方の各県における若干の過大推計傾向は残っているものの、プールモデルによる推計値と比較すると、その程度はかなり縮小している。年齢3区分別人口割合で最もロジャース・モデルとの差が大きい老年人口割合に関して、ODプールモデルでは-0.67（岩手県）～+0.41（鳥取県）の間となり、単純プールモデルにおける老年人口割合の差（-1.06～+0.35）と比較すると、若干ながら差の範囲は狭まった。ODプールモデルでは、西日本の各県において老年人口割合がやや高めに算出される傾向がある一方で、東北地方の各県ではマイナス幅が縮小し、全体としての差の偏りは小さくなっている。また、転出数の指数の差はODプールモデルで-0.5～+1.5（単純プールモデルで-0.7～+3.7）、転入数の指数の差はODプールモデルで-0.7～+1.9（単純プールモデルで-1.5～+5.4）の間となり、いずれも単純プールモデルと比較して大幅に狭まった。

以上のように、ODプールモデルにおいて総じて単純プールモデルよりもロジャース・モデルに近い推計結果が得られた要因は、推計期間中に配分率を変化させていることによる。図2は、都道府県別の2060年の配分率比（ $_{i,j}dr(2060)_i$ ）の分布を示したものであるが、人口減少率の小さい地域からの転入が多い東京都近辺の各県などでは2010年と比較して配分率が上昇しているのに対して、人口減少率の大きい地域からの転入が多い東北・中国・四国地方などでは配分率が低下している。このように、ODプールモデルでは総人口の分布変化が配分率に反映されることにより、投影精度がさらに向上していると判断することができる。

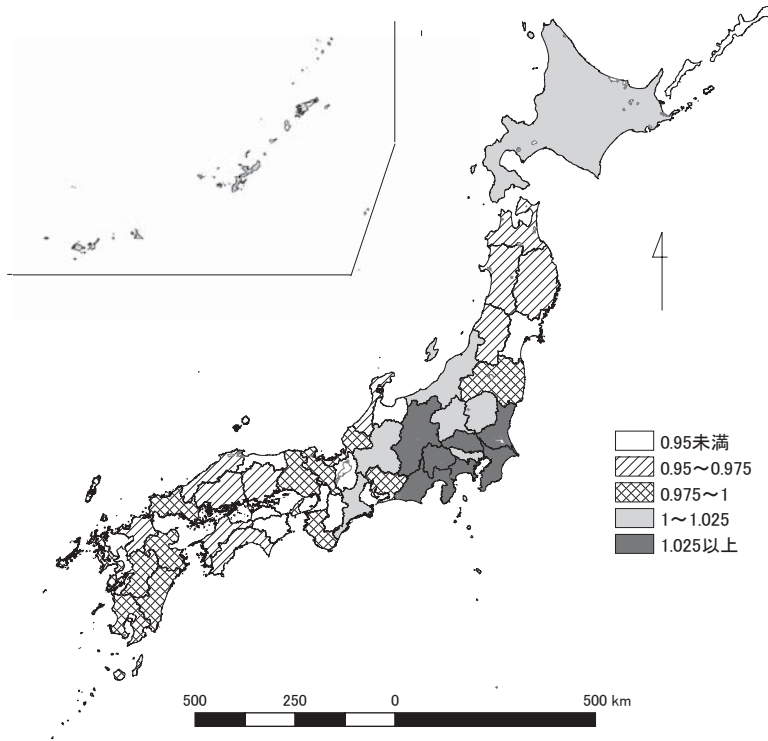
V節でのロジャース・モデルによる推計結果との比較から、都道府県単位では単純プールモデルでも十分な投影精度の推計結果が得られたが、市区町村単位になると、単純プールモデルでは転入者の地域分布が考慮されないことによる投影の歪みが都道府県単位以上に現れると考えられるため、市区町村別将来人口推計への適用にはやや慎重な検討が必要であろう。一方、ODプールモデルの適用には総数ベースのOD表が必要となるが、2012年以降の「住基移動」では完全な形ではないものの、参考表として市区町村間ODが公表されており、同じく2014年以降の「住基移動」で公表されている市区町村別男女5歳階級別の転出数・転入数等と組み合わせれば、市区町村別将来人口推計への適用も不可能ではない。地域別の人口移動に関する仮定設定方法には検討の余地が多いが（小池 2015）、仮定設定如何の前に必要なのはモデルの妥当性の検証であり、ODプールモデルにより人口移動傾向のほぼ正確な投影が可能であることを示した点は、大きな意義があるといえよう。

表4 単純プールモデルとODプールモデルのロジャース・モデルとの差
(2060年の総人口指数, 65歳以上人口割合, 転出数指数, 転入数指数)

	2060年 総人口指数 (2010年=100)		2060年 65歳以上人口割合 (%ポイント)		2060年 転出数指数 (2011年=100)		2060年 転入数指数 (2011年=100)	
	単純 プール	OD プール	単純 プール	OD プール	単純 プール	OD プール	単純 プール	OD プール
全国	0.0	0.0	0.00	-0.11	0.4	0.4	0.4	0.4
北海道	-0.2	0.1	-0.04	-0.21	0.3	0.6	-0.5	0.8
青森県	1.2	0.6	-0.81	-0.59	1.9	1.3	3.1	1.6
岩手県	1.7	0.7	-1.03	-0.67	2.6	1.5	4.4	1.7
宮城県	2.9	0.8	-1.06	-0.47	3.7	1.5	5.4	1.3
秋田県	1.1	0.5	-0.89	-0.61	1.9	1.3	3.5	1.5
山形県	1.1	0.7	-0.81	-0.65	2.0	1.5	3.4	1.9
福島県	0.5	0.5	-0.47	-0.53	1.3	1.3	1.7	1.5
茨城県	-0.5	0.3	0.01	-0.37	0.0	0.8	-0.8	1.0
栃木県	-0.1	0.3	-0.11	-0.30	0.4	0.8	0.2	0.9
群馬県	-0.2	0.3	-0.04	-0.30	0.2	0.7	-0.2	1.0
埼玉県	-1.2	0.1	0.04	-0.48	-0.4	1.0	-1.1	1.3
千葉県	-1.2	0.1	0.03	-0.46	-0.4	0.9	-1.1	1.1
東京都	0.0	0.4	0.00	-0.19	0.5	0.8	0.0	0.5
神奈川県	-1.0	0.0	0.06	-0.36	-0.3	0.8	-0.8	1.0
新潟県	-0.1	0.1	-0.08	-0.21	0.5	0.7	0.2	0.9
富山県	0.1	-0.2	0.00	0.07	0.3	0.1	0.7	-0.1
石川県	0.4	-0.2	-0.02	0.15	0.5	-0.2	1.4	-0.2
福井県	0.0	-0.3	0.04	0.10	0.3	-0.1	0.6	-0.2
山梨県	-0.9	0.0	0.10	-0.30	-0.3	0.7	-1.4	0.8
長野県	-0.6	0.0	0.08	-0.20	-0.1	0.5	-0.9	0.7
岐阜県	-0.9	-0.4	0.35	0.10	-0.7	-0.2	-1.5	-0.2
静岡県	-0.7	0.0	0.18	-0.15	-0.5	0.3	-1.2	0.6
愛知県	0.3	-0.2	0.04	0.13	0.4	-0.2	1.3	-0.1
三重県	-0.3	-0.3	0.20	0.10	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
滋賀県	0.4	-0.5	0.06	0.13	0.6	-0.2	1.5	-0.1
京都府	0.1	-0.3	0.13	0.13	0.3	-0.2	0.6	-0.3
大阪府	0.4	-0.2	0.08	0.12	0.7	0.1	1.4	0.1
兵庫県	0.1	-0.4	0.08	0.08	0.5	0.0	0.8	-0.2
奈良県	0.2	-0.4	0.14	0.07	0.7	0.1	1.3	-0.1
和歌山県	0.0	-0.4	0.10	0.13	0.5	0.0	0.8	-0.4
鳥取県	0.8	-0.4	0.04	0.41	0.9	-0.5	2.5	-0.5
島根県	0.7	-0.3	0.01	0.29	0.8	-0.3	2.0	-0.4
岡山県	0.6	-0.4	0.06	0.28	0.7	-0.3	1.8	-0.6
広島県	0.8	-0.4	-0.01	0.28	0.9	-0.4	1.9	-0.6
山口県	0.2	-0.3	0.21	0.28	0.2	-0.3	0.8	-0.3
徳島県	0.7	-0.3	0.01	0.34	0.8	-0.4	2.4	-0.6
香川県	1.4	-0.3	-0.18	0.31	1.5	-0.4	2.9	-0.6
愛媛県	0.5	-0.3	0.00	0.23	0.9	0.0	1.9	-0.4
高知県	0.7	-0.3	-0.01	0.34	0.8	-0.4	2.1	-0.7
福岡県	1.1	-0.1	-0.03	0.20	1.2	-0.2	2.1	-0.2
佐賀県	0.4	-0.1	0.07	0.11	0.7	0.2	0.9	-0.1
長崎県	-0.1	-0.2	0.24	0.17	0.0	-0.1	-0.2	-0.3
熊本県	0.4	-0.1	0.07	0.13	0.6	0.1	0.9	-0.1
大分県	0.2	-0.1	0.15	0.15	0.4	0.1	0.5	-0.2
宮崎県	0.4	0.0	0.06	0.12	0.4	0.0	0.8	-0.1
鹿児島県	-0.1	-0.1	0.19	0.13	0.1	0.0	0.0	-0.2
沖縄県	-0.5	-0.1	0.09	-0.03	-0.4	0.0	-0.7	0.0

注：単純プールモデルによる推計値は小池（2015）による。

図2 都道府県別、2060年の配分率比の分布



VII. おわりに

本稿では、2010年の都道府県別男女各歳別人口を基準として、2060年までの将来人口推計をロジャース・モデルによって行ったうえで、小池（2015）において行ったプールモデル（単純プールモデル）による推計結果と比較し、推計結果に開きがある都道府県についてはその要因について考察した。さらに推計結果を踏まえ、単純プールモデルに総数ベースでのODパターンを加味したプールモデル（ODプールモデル）により同様に将来人口推計を行い、単純プールモデルと比較して投影精度が向上しているか否かを検証した。

推計の結果、2060年の単純プールモデルによる都道府県別推計値は全体としてロジャース・モデルによる推計値と近い値となっており、単純プールモデルによれば、仮定値の大幅な縮減にもかかわらず投影精度はきわめて良好であることが改めて示された。ただし、推計値をよく観察すると、単純プールモデルにおいて東北地方ではやや過大推計であったのに対して、東京都以外の東京圏に属する県などでは若干の過小推計となった。その要因は、主に両モデルにおける転入数の推計方法の違いによるものであり、単純プールモデルでは転入者の地域分布が考慮されていないことから、全域的な人口変化と主要な転入元となる地域の人口変化のパターンが異なる場合、ロジャース・モデルによる転入数および推

計人口との乖離はやや拡大する傾向が認められた。この推計結果を受け、総人口ベースのODパターンを加味しながら推計期間中に配分率を変化させるODプールモデルにより推計を行ったところ、総じて単純プールモデルよりもロジャース・モデルによる推計値に近い結果が得られ、総人口ベースのODパターンを加味することによって、投影精度はさらに向上することが示された。

「住基移動」では、2010年から年齢別の集計結果が表象されているのに加え、2014年からは市区町村別の男女5歳階級別転出数・転入数が表象されるなど、地方創生の時流にも乗って地域別の人口移動統計が詳細に公表されてきているのは、人口移動仮定が最重要課題となる地域別将来人口推計にとっても好材料である。こうした状況下において、多地域モデルの適用も徐々に現実的なものとなってきており、なかでも正確な投影精度と入手可能な人口移動統計の双方の観点から、本稿で適用したODプールモデルは有力な人口移動モデルのひとつと考えられよう。

一方で、とくに市区町村別の将来人口推計においては、新規宅地開発等による突発的な人口移動が多くみられるために、短期間の統計のみでは、基準となる転出率や配分率等をいかに設定するかが往々にして困難な問題となる。また、基準期間において観察された地域別の転出率を推計期間中一定とする仮定は、少なくとも日本においては地域別の人口移動状況を正確に反映した仮定でない可能性が高く（小池 2015）、実際の推計においては、過去からの人口移動傾向を丁寧に分析したうえでの仮定設定が求められる¹⁴。通常はモデルの対象外となる国際人口移動の仮定設定も含め、モデルの実用化にあたっては検討すべき課題がまだ多く残されているといえる。

本稿において今ひとつ明らかになったのは、都道府県別の将来人口推計であれば、ロジャース・モデルの適用も不可能ではないということである。過去のわが国においても、ロジャース・モデルを適用した地域別将来人口推計の先駆的な試みがみられるが（川嶋ほか 1982, Kuroda and Nanjo 1982, 南條ほか 1993など）、いずれも入手可能な統計の制約等により、地域や年齢階級が一定の区分にまとめられるなどしている。しかし当時と比較すれば、人口移動統計の拡充に加えパソコンのデータ処理能力も飛躍的に向上しており、47都道府県の50年後までの各年男女各歳別推計であれば計算上は全く問題がない。基準となる転出先別転出数（率）を繰り返し比例補正により推定する本稿の方法にも検討の余地があるが、主たる課題は、やはり将来の国内人口移動仮定および国際人口移動仮定をいかに設定するか、ということになるだろう。

多地域モデルに関しては、ロジャース・モデルやプールモデル以外にも様々なモデルが考えられ（Wilson and Rees 2005）、人口移動統計の拡充とともにモデル選択の可能性も広がってきている。今後も既存の人口移動統計を広く活用した基礎的研究を積み重ねていくことが不可欠といえよう。

（2016年5月18日査読終了）

14) この点に関しては、Raymer and Rogers (2007) によって提示されている不完全データからの移動流の推定方法などが、参考になると考えられる。

参考文献

- 飯塚健太 (2015) 「多地域モデルと単地域モデルの地域人口推計精度の比較検証ならびに複合モデルの可能性について」『人口学研究』第51号, pp.1-17.
- 川嶋辰彦・大鹿隆・大平純彦・木村文勝 (1982) 「わが国の地域別年齢階級別将来人口像—ロジャーズ—ウィルキンス・モデル (IIASA モデル) の応用—」『学習院大学経済論集』, 第18巻2号, pp.3-69.
- 小池司朗 (2008) 「地域別将来人口推計における人口移動モデルの比較研究」『人口問題研究』第64巻第3号, pp.87-111.
- 小池司朗 (2015) 「多地域モデルによる都道府県別将来人口推計の結果と考察」『人口問題研究』第71巻第4号, pp.351-371.
- 国立社会保障・人口問題研究所 (2012) 『日本の将来推計人口—平成23 (2011) ~72 (2060) 年—平成24年1月推計』人口問題研究資料第326号.
- 国立社会保障・人口問題研究所 (2013) 『日本の地域別将来推計人口—平成22 (2010) ~52 (2040) 年—平成25年3月推計』人口問題研究資料第330号.
- 南條善治・重松峻夫・吉永一彦 (1993) 「多地域レスリー行列を用いた47都道府県別将来推計人口の試み」『人口学研究』第16号, pp.35-39.
- 山内昌和 (2014) 「地域人口の将来推計における出生指標選択の影響: 都道府県別の分析」『人口問題研究』第70巻第2号, pp.120-136.
- Alho J. M. and Spencer B. D. (2006) *Statistical Demography and Forecasting*, Springer.
- Kupiszewski, M. and Kupiszewska, D. (2003) *Internal Migration Component in Subnational Population Projections in Member States of the European Union* (Working Paper 2/2003). Warsaw: Central European Forum for Migration Research.
- Kuroda, T. and Nanjo, Z. (1982) *Rogers' Model on Multiregional Population Analysis and Its Application to Japanese Data*, (NUPRI Research Paper Series, No.9), Nihon University.
- Raymer, J. and Rogers, A. (2007) "Using Age and Spatial Flow Structures in the Indirect Estimation of Migration Streams", *Geographical Analysis*, Vol.44, No.2, pp.199-223.
- Raymer, J., Abel, G. J. and Rogers, A. (2012) "Does Specification Matter? Experiments with Simple Multiregional Probabilistic Population Projections", *Environment and Planning A*, Vol.44, No.11, pp. 2664-2686.
- Rogers, A. (1990) "Requiem for the Net Migrant", *Geographical Analysis*, Vol.22, No.4, pp.283-300.
- Rogers, A. (1995) *Multiregional Demography: Principles, Methods and Extensions*, Wiley.
- Rogers, A., Little J. and Raymer J. (2010) *The Indirect Estimation of Migration : Methods for Dealing with Irregular, Inadequate, and Missing Data*, Springer.
- Smith, S. K., Tayman, J., and Swanson, D. A. (2013) *A Practitioner's Guide to State and Local Population Projections*, Springer.
- van de Gaag N, van Imhoff E, van Wissen L. (2000) "Internal migration scenarios and regional population Projections for the European Union", *International Journal of Population Geography*, Vol.6, No.1, pp.1-19.
- van Imhoff E, van de Gaag N, van Wissen L, Rees P. (1997) "The selection of internal migration models for European regions", *International Journal of Population Geography*, Vol.3, No.2, pp.137-159.
- Wilson, T. and Bell, M. (2004) "Comparative Empirical Evaluations of Internal Migration Models in Subnational Population Projections", *Journal of Population Research*, Vol.21, pp.127-160.
- Wilson, T. and Rees, P. (2005) "Recent Developments in Population Projection Methodology: A Review", *Population, Space and Place*, Vol.11, No.5, pp.337-360.

A Study on the Projection Accuracy of the Migrant Pool Model

Shiro KOIKE

In this study, prefectural population projections are made by Rogers' model (a full-matrix multiregional model) and compared with those previously made by the migrant pool model (a simple pool model). Furthermore, prefectural population projections are made by the OD (origin and destination) pool model, which is also a migrant pool model but considering total OD migration pattern. The accuracy of the OD pool model is tested by comparing its population projections with those of the simple pool model.

Results show little overall difference between the population projections of the simple pool model and Rogers' model, and the simple pool model exhibits the ability to project migration tendency almost accurately. However, the difference in the projected in-migration number and population between the two models is slightly larger when the change in the future population of the entire area and of the source area of in-migrants is greatly different, because the geographical distribution of in-migrants is not considered in the simple pool model. On the other hand, the population projections of the OD pool model are generally closer to those of Rogers' model than to those of the simple pool model, suggesting that projection accuracy improves when the total OD migration pattern is taken into account.

Although the application of the multiregional model to actual regional population projections is met with many challenges, the OD pool model seems to be a prominent migration model from the viewpoint of both projection accuracy and availability of migration statistics.