

個体ベースの二地域将来人口推計モデルの構築と地域別人口政策の評価

野田旬太郎 森幹彦 上田浩 喜多一（京都大学）

Construction of an Individual-based Two Region Future Population Estimation Model and Evaluation of Regional Population Policies

*S. Noda, M. Mori, H. Ueda and H. Kita (Kyoto University)

概要— 日本では、少子化による人口減少と人口構造の高齢化が進行しており、国や地方公共団体によって様々な人口政策が行われている。人口政策の評価には、世帯構造なども考慮した個体ベースの人口推計モデルが有用である。本研究では、先行研究である福田のモデルが抱える問題点を改善した二地域将来人口推計モデルを提案するとともに、構築したモデルを用いて、日本でもっとも厳しい人口減少に直面する秋田県を対象に、人口政策の効果についての評価を試みた。その結果、提案モデルにおいて地域間移動者数の推計精度が向上することが確認された。また、現在秋田県が取り組んでいる人口政策によって、秋田県の人口減少が一定程度抑制され、高齢者割合の増加に歯止めをかけられることが示された。

キーワード: 将来人口推計, 人口政策評価, マイクロシミュレーションモデル, エージェントベースモデル

1 はじめに

日本では、少子化による人口減少と人口構造の高齢化が進行している (Fig. 1)。日本の総人口は、1970年には1億人を突破し、2010年時点で約1億2800万人に達した⁸⁾。しかし、その後の2015年の推計から人口は減少しており、2060年には9000万人を下回ると予測されている¹⁰⁾。日本における65歳以上人口の割合は、1950年には約5%ほどであったが、2005年に20%、2013年には25%を超えており、日本は世界的に稀に見る高齢化社会を迎えている。

人口減少と高齢化が進行する要因として、出生率が低下していることがあげられる。1970年に2.13であった日本の合計特殊出生率は、1975年には2.0を下回り、2005年には国内統計史上最低となる1.26にまで低下した。その後やや上昇し、2013年時点では1.43となったが、依然として低い水準にとどまっている⁸⁾。

人口減少と高齢化により、労働人口の減少による生産性の低下や、消費者の減少による内需の低下、またそれらに起因する経済成長の停滞が懸念されている。また高齢化による人口構成の変化は、現行の社会保障費を増大させ、財政の硬直化を招き、経済成長の停滞に拍車をかける恐れがある。

国や地方公共団体では、人口減少と高齢化の進行に対して、様々な人口政策が実施されている。2015年には、少子化対策として「子ども・子育て支援新制度」が導入された。同制度では、子ども・子育て支援の実施主体を市町村と位置づけ、市町村が計画的に地域の子育て基盤を整備するよう定めている¹⁴⁾。高齢化対策では、1995年に成立した高齢社会対策基本法の規定に従い、1996年に最初の高齢社会対策大綱が策定され、2012年までに3度目の見直しが行われている¹⁵⁾。また最近の新たな動きとして、地方創生の取り組みがあげられる。2014年に策定された「まち・ひと・しごと創生長期ビジョン」では、目指すべき将来の方向を「将来にわたって『活力ある日本社会』を維持すること」とし、人口減少に歯止めをかけ、出生率を人口置換水準にまで回復させることを「必須の条件」とした上で、「2060年に1億人程度の人口を維持する」ことを中長期展望と

して示している¹⁶⁾。このように様々な人口政策が実施されているが、必ずしも全ての政策が効果的に機能しているわけではなく、過去には人口規模や出生数に対して定められた政策目標が達成されていない事例も見られる。

本研究では、効果的な人口政策の実施を支援するため、将来人口推計モデルを用いた人口政策評価に取り組んでいる。本研究の目的は、人口政策が将来人口に対して与える影響を事前に予測することによって、政策の効果を実施前に評価し、人口減少や高齢化の抑制に効果的な政策を優先的に実施することを可能にすることである。

このような人口政策の評価には、世帯構造なども考慮した個体ベースの人口推計モデルが有用である。福田は、人口政策の評価への応用を視野に入れて、進学・就職・転勤を理由とした人口移動を考慮した個体ベースの二地域将来人口推計モデルを提案している¹⁹⁾。しかしながら、福田のモデルには地域間移動の妥当性や、使用するパラメータの推計精度に課題が残されていた。本稿では、福田のモデルが抱える問題点を改善した二地域将来人口推計モデルを提案するとともに、このモデルを用いて行った日本でもっとも急速な人口減少が進む秋田県を対象とした人口政策評価の結果を報告する。

2 将来人口推計モデル

本章では、将来人口推計の手法としてコーホート要因法と、個体ベースの推計手法を紹介する。

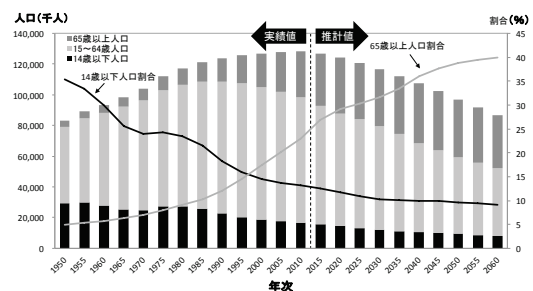


Fig. 1: 日本の人口及び人口構成の推移⁸⁾¹⁰⁾

2.1 コーホート要因法

コーホート要因法⁹⁾は、人口学の分野で標準的に用いられる将来人口推計の手法である。この方法は、年齢と性別が共通する人口集団であるコーホートに対し、そのダイナミクスを記述するマクロな推計手法である。コーホート要因法では、加齢によって生じる毎年の人口変動要因（「出生」、「死亡」および「人口移動」）に仮定を設け、各コーホートについてこれらを計算することで、人口集団の規模、及び年齢構造の変化を予測する。各人口変動要因の仮定値は、統計指標の実績値に基づき、人口統計学的な修正を加えることにより設定される。仮定値の設定では、将来の出生、死亡等の推移が不確実であるため、上位・中位・低位など複数の仮定に基づく推計を行い、将来の人口推移について一定幅の見通しを与えることが一般的である。

コーホート要因法は、人口変動に大きく関わる要因のみを採用し、対応する各実績値を用いるという単純で分かりやすい手法であり、人口推計手法として広く用いられている。しかしながら、コーホートの人口という集計量に対して人口変動を記述するため、個人や世帯単位での効果を持つ人口政策の評価は行いにくい。

2.2 個体ベースの将来人口推計モデル

コーホート要因法が集計量であるコーホートを扱うのに対し、明示的に個人を扱う将来人口推計モデルを個体ベースのモデルと呼ぶ。以下、2つのモデルを紹介する。

2.2.1 INAHSIM

日本における、個体ベースの将来人口推計モデルの例としては、世帯情報解析モデルであるINAHSIM⁵⁾があげられる。INAHSIMは、世帯や家族をベースとして、所得格差、ライフスタイルの変化の要因分析および将来予測を行うことを目指したマイクロシミュレーションモデルであり、1981年に人口問題研究所の岡崎陽一らによって研究が始められた。開発当初のバージョンでは、家族関係および同居関係といった世帯のシミュレーションにとどまっていたが、その後、様々な機能拡張が行われ、最新版では経済状態や健康状態、各種政策などの組み込みが可能になり、公的機関の将来推計結果との整合性が確保されるようになってきている。

稲垣の研究では、最新バージョンのINAHSIMが用いられており、平成13年の「国民生活基礎調査」の個票データから日本の総人口の1000分の1の仮想社会を構成し、100年間のシミュレーションを行っている。個票データには、個々人の「性別」、「年齢」、「家族構成」、「就業状態」、「健康状態」、「所得」、「年金額」などが含まれており、これらの情報から人口の初期値を構成している。シミュレーションのサイクルは1年であり、「出生」、「死亡」、「結婚」、「離婚」、「就業状態の遷移」などの合計9種類のイベントが確率的に発生する。各確率は公表されている各種統計を基に設定されており、基本的には将来一定であると想定されているが、将来のトレンドを取り入れることも可能となっている。

2.2.2 福田らの将来人口推計モデル

福田らは、人口移動による人口変動に影響を与える人口政策の評価を行うことを目的として、個体ベースの

二地域将来人口推計モデルを提案している¹⁹⁾。このモデルは、マイクロシミュレーションモデルとエージェントベースモデルの中間的性格を持っている。シミュレーションのサイクルは1年であり、初期エージェントおよび初期世帯の設定後は、毎年、「加齢」、「出生」、「死亡」、「婚姻」、「離婚」、「世帯分離・統合」、「転入・転出」の7種類のライフイベントを、設定されたパラメータに適合するように確率的に発生させることで将来人口の推計を行う。Fig. 2にモデルの全体像を示す。

福田らのモデルでは、初期エージェントの構成や一部のライフイベントを拘束条件付最適化問題として定式化しており、シミュレーテッドアニーリングを用いて最適解の組合せを求めている。なお、初期エージェント生成においてはエージェントの属性値そのものを決定変数としている一方で、各ライフイベントでは対象となるエージェントの組合せが決定変数である。各ライフイベントは、エージェントの属性である年齢や性別などによって、その発生確率が決定する。エージェントの属性は、人口動態に関わるものを複数導入しており、年数の経過やライフイベントの発生によって各属性値は動的に変化する。

2.3 将来人口推計における地域間人口移動の取り扱い

国立社会保障・人口問題研究所(以下、「社人研」)は、コーホート要因法を用いて日本の地域別将来人口推計を行っている¹¹⁾。ここでは、平成17年から22年の5年間における当該自治体の転出者数と転入者数との差である「純移動数」を、平成17年の人口で割った「純移動率」を用いて、地域間の移動者数を算出している。

このコーホート要因法について小池⁶⁾は、複数の人口移動モデルを用いて地域別の将来人口推計を行い、その推計値の比較を通して各モデルの利点と問題点を考察している。比較の対象とする人口移動モデルは、先に紹介した社人研の推計でも用いられている地域ごとの純移動率のみから計算するモデルなどを含む「純移動率モデル群」と、複数地域への転出率を設定した上ですべての転出者を計算する「多地域モデル群」に大別される。多地域モデル群は、すべての地域間ペアについて転出率を設定する「ロジャース・モデル」、各地域から地域外への転出率を設定し、全地域からの転出者総数(プール)を求めた上で、地域ごとに設定した配分率に従って各地域に転入させる「プールモデル」、推計対象地域および外部地域の二地域においてロジャース・モデルを適用する「二地域モデル」の3種類のモデルからなる。

小池は推計結果の比較から、純移動率モデル群は多地域モデル群と比べて、その推計結果の妥当性には疑問があるとして、純移動率を用いた単一地域ごとの推計ではなく、地域からの転出率をベースとした複数地域の枠組みを維持することができるが、人口移動モデルにおいて重要であると考察している。多地域モデル群においては、ロジャース・モデルとほぼ同様の推計結果が、プールモデルおよび二地域モデルから得られており、都道府県程度であれば、これら二つのモデルで十分に代替し得ると結論付けられている。

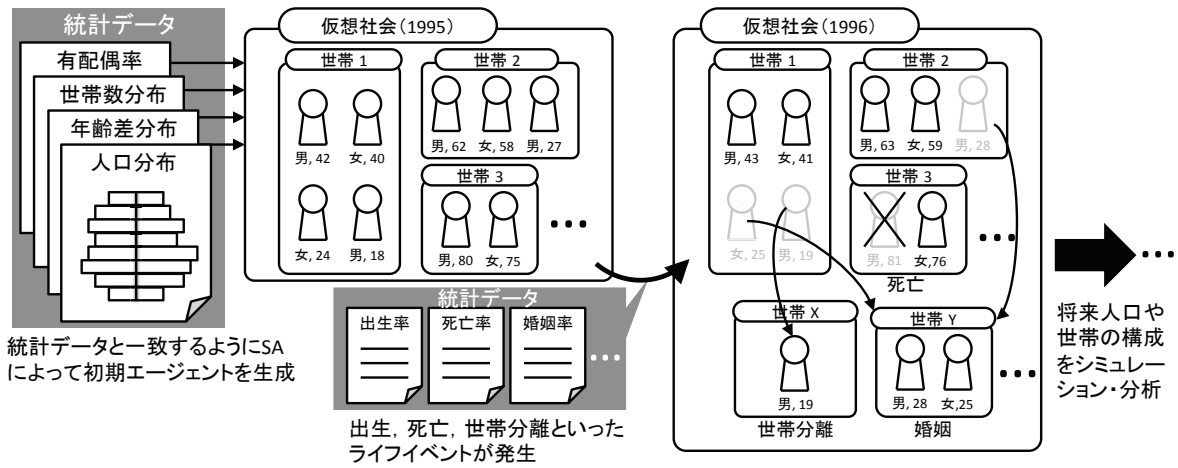


Fig. 2: 福田らの将来人口推計モデル¹⁹⁾

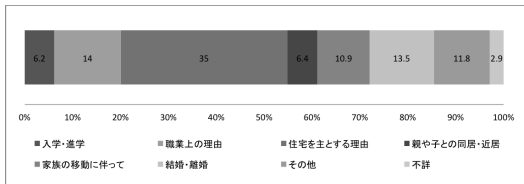


Fig. 3: 日本国内の人口移動理由割合¹²⁾

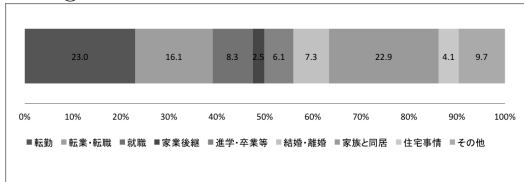


Fig. 4: 秋田県の県外転入理由割合¹⁾

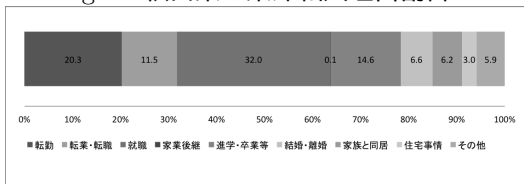


Fig. 5: 秋田県の県外転出理由割合¹⁾

3 二地域将来人口推計モデルにおける地域間人口移動のモデル化

本章では、二地域将来人口推計モデルにおいて、本研究で構築した地域間移動モデルを紹介する。

3.1 地域間移動要因の分類

社人研が2011年に実施した第7回人口移動調査¹²⁾の結果によると、日本国内の都道府県間及び都道府県内移動の要因は、「入学・進学」など6要因が移動全体の85%程度を占める(Fig. 3)。一方で、都道府県間の移動に関しては、当該地域とその外部地域との間の人口移動理由に関する調査が、いくつかの都道府県によって独自に行われている。例えば秋田県¹⁾では、県外地域との間の移動において、「仕事関係」、「進学・卒業等」、「結婚・離婚」、「家族と同居」、「住宅事情」の5要因によって、県外転入・転出ともに、移動の90%以上が占められる。とくに、就職、進学・卒業等、家族と同居を理由とする移動については、転入と転出で占める割合が比較的大きく異なっており、移動要因別の純移動数で見るとその規模が大きくなることがわかる(Fig. 4, 5)。

3.2 要因別移動モデルの構築

福田らは、修正重力モデルを用いて地域間移動をモデル化した。本研究で、ポアソン重力モデルを用いて移動者数の推計を行ったところ、修正重力モデルに比べて推計精度が大きく改善されることが確認された。

3.2.1 空間的相互作用モデル

空間的相互作用モデルとは、地表における財、旅客、人口移動者、資金、情報、アイデアなど、様々な流れの全体を記述するモデルである⁴⁾。空間的相互作用モデルの一般形は式(1)で示される。

$$M_{ij} = f(V_i, W_j, c_{ij}) \quad (1)$$

ここで、 M_{ij} は地域 i から地域 j への相互作用、 V_i は地域 i の放出性、 W_j は地域 j の吸収性、 c_{ij} は地域 i, j 間の分離性である。

人口移動を記述する代表的な空間的相互作用モデルには、修正重力モデル、ポアソン重力モデル、エントロピーモデルがある。

重力モデル 重力モデルは、万有引力の法則に着想を得て発展したモデルであり、社会科学を始めとする様々な分野において相互作用を説明するモデルとして用いられる⁴⁾。重力モデルは、Stewart²⁰⁾によって人口学的重力としての説明に用いられ、その後は交通計画研究や交通旅客移動の分析にも利用された。任意の2地点間の人口移動を説明する重力モデルは式(2)のように表される。

$$M_{ij} = G \frac{P_i^{\beta_1} P_j^{\beta_2}}{d_{ij}^\alpha} \quad (2)$$

ここで、 M_{ij} は地域 i から地域 j への人口移動数であり、 P_i, P_j はそれぞれ地域 i, j の人口規模、 d_{ij} は地域 i, j 間の距離、 G は定数である。各変数は α, β_1, β_2 のパラメータによって重み付けされている。すなわち、任意の二地域間の人口移動数は、出発地および目的地の人口規模のべき乗に対して比例関係であり、二地域間の距離のべき乗に対しては反比例関係があることを意味する。もっとも古典的な重力モデルでは、万有引力の法則の純粋なアナロジーから、 $\alpha = 2, \beta_1 = \beta_2 = 1$

として一意的に重み付けを行う。一方、 α および β_1 , β_2 を独立のパラメータとして定める場合には、 β_1, β_2 によって M_{ij} と M_{ji} に非対称性が生じるため、一般には $M_{ij} \neq M_{ji}$ となる。

修正重力モデル 重力モデルは、右辺の説明変数を拡張しやすいという性質を持っている。重力モデルに対して修正項を加え、さらに両辺の自然対数をとったものを「修正重力モデル」と呼ぶ。人口移動研究において用いられる修正重力モデルの一例を式 (3) に示す。

$$\ln M_{ij} = \ln G + \beta_1 \ln P_i + \beta_2 \ln P_j - \alpha \ln d_{ij} \quad (3)$$

各パラメータの推定は、上記のように両辺の対数をとることで線形の問題に帰着させ、これに最小二乗法を適用することによって行う。

ポアソン重力モデル 修正重力モデルでは、パラメータ推定の際に対数をとって最小二乗法を用いるため、相対的に流量が多い地域間の相互作用が過大推計されるといった問題が生じる。これに対し、ポアソン過程に基づく相互作用モデルでは、パラメータ推定の際に対数をとる必要がなく、推定誤差が重力モデルに比べはるかに小さくなるとされる⁴⁾。

もし、 i から j への移動者数を非負であり、 i にいる個人が j に移動する一定の小さい確率があり、 i の人口が大きく、個人の移動は独立的な過程であるとすれば、観測されたフローはポアソン過程の結果と見なせる。つまり、 i, j 間の観測される移動者数は、

$$p(M_{ij}) = \frac{e^{-\lambda_{ij}} \lambda_{ij}^{M_{ij}}}{M_{ij}!} \quad (4)$$

で与えられる。ここで、 $p(M_{ij})$ は M_{ij} の人数が移動すると記録される確率、 λ_{ij} はポアソン過程の期待値(平均)である。ところで、 λ_{ij} は未知なので、

$$\lambda_{ij} = GP_i^{\beta_1} P_j^{\beta_2} d_{ij}^{-\alpha} \quad (5)$$

のように、 P_i, P_j, d_{ij} の関数であると仮定する。したがって、ポアソン過程に基づく相互作用モデルは、構造上重力モデルと同じであるが、重力モデルに特有の問題を克服している点で、それを改良したものともみなすことができる。以下では便宜上、ポアソン過程に基づく相互作用モデルを簡単に「ポアソン重力モデル」と呼ぶ。パラメータ推定には、繰り返し重み付き最小二乗法を利用する方法、最尤法を利用する方法の二通りがある。

エントロピーモデル Wilson(1967) によって定式化されたエントロピーモデルは、各地域の総流出量、総流入量に制約を設けるモデルであり、発生制約もしくは吸収制約と呼ばれるモデルの一つである²¹⁾。エントロピーモデルでは、発生・吸収の制約条件のもとで、起こりうる場合の数が最も多い地域間相互作用のパターンを計算する。ここでは、発生と吸収の両方に制約がある場合を考える。

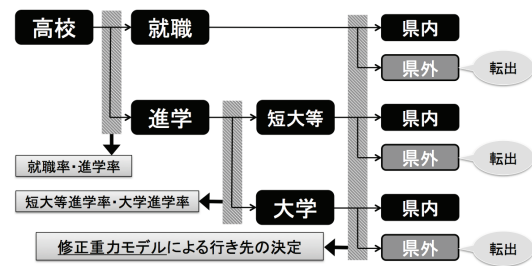


Fig. 6: 転入・転出イベントの分岐 (18 歳)¹⁹⁾

発生・吸収制約である式 (6) に加えて、例えば移動コストの制約条件として、式 (7) を満たすとする。

$$\sum_i O_i = \sum_j D_j = M \quad (6)$$

$$\sum_i \sum_j M_{ij} c_{ij} = C \quad (7)$$

ここで、 O_i は地域 i からの総転出量、 D_j は地域 j への総転入量、 M は全地域間移動の総量、 c_{ij} は地域 i, j 間の分離性、 C は定数である。地区間移動量の組合せ M_{ij} が生じる場合の数が最大となる場合の M_{ij} が、現実に最も起こりやすい場合と考える。発生・吸収制約と移動コストの制約を満たすという条件のもと、これを最大化する M_{ij} の組を求めると、式 (8)~(10) が得られる。

$$M_{ij} = A_i B_j O_i D_j \exp(-\beta c_{ij}) \quad (8)$$

$$A_i = \left[\sum_j B_j D_j \exp(-\beta c_{ij}) \right]^{-1} \quad (9)$$

$$B_j = \left[\sum_i A_i O_i \exp(-\beta c_{ij}) \right]^{-1} \quad (10)$$

エントロピーモデルは、ポアソン重力モデルと同じく、修正重力モデルに比べて推定精度が高いモデルであるとされる。しかしながら、二地域モデルに適用した場合には、本来は被説明変数であるはずの各地域の総流出量、総流入量を制約条件として定める必要がある。したがって二地域モデルに対しては、修正重力モデルもしくはポアソン重力モデルを適用することが妥当であると考えられる。

3.2.2 福田らの研究における地域間移動のモデル化

福田らの研究では、進学・就職・転勤を理由とした地域間移動者数について、修正重力モデルによって構築した移動モデルを用いて推計を行っている¹⁹⁾。各モデルにおける被説明変数は、共通して任意の都道府県間の「移動者数であり、公表されている統計データから移動者数に関する基礎データを得ている。また、モデルは男女別に定義されている。Table 1 に、転入・転出イベント発生タイミングを示す。また、例として、Fig. 6 に 18 歳における転入・転出イベントの分岐を示す。

以下では、進学を理由とした人口移動を記述する「進学重力モデル」、就職を理由とした「就職重力モデル」、転勤を理由とした「転勤重力モデル」について、それぞれ概説する。

Table 1: 転入・転出イベントにおける進学・就職の発生タイミング¹⁹⁾

	進学イベント			就職イベント			
	短大等	大学	大学院	高校卒	短大等卒	大学卒	大学院卒
年齢	18	18	22	18	20	22	24
社会的役割	その他	その他	大学生	その他	短大生	大学生	大学院生

進学重力モデル 進学については、高校卒業時の短期大学等（短期大学、専修学校、公共職業能力開発施設等）進学（以下、「短大等進学」）、大学進学、および大学卒業時の大学院進学を想定している。また、重力モデル人口規模 P_i, P_j をそれぞれ地域 i からの移動発生のポテンシャル、地域 j の移動先としての魅力として解釈し、地域 i の人口規模を「卒業する教育期間の学生数」、地域 j の人口規模を「入学する教育期間の学生定員数」と置いている。ただし、都道府県別の学生定員数の総数に関する統計データは存在しないため、モデルパラメータの推定にあたっては「学生数」が学生定員数と同等の意味を持つと仮定している。また都道府県間の距離として、都道府県庁間の距離を用いている。自都道府県内への進学の扱いについては、同じ進学重力モデルを用いて進学者数を算出しているが、地区内距離は 0 とし、その代わりに対数を取ることを考慮して、モデルに正の一定バイアスを加えている。また先述の通りモデルは男女別に定義しているため、移動数および学生数も男女別の基礎データを用いている。

以上を踏まえて、進学重力モデルは式 (11) のように表されている。

$$\ln M_{ij} = C + \beta_1 \ln S_i + \beta_2 \ln S_j - \alpha \ln(d_{ij} + 10\text{km}) \quad (11)$$

ここで、 M_{ij} は進学を理由とした地域 i から地域 j への移動者数、 S_i は地域 i の卒業機関の学生数、 S_j は地域 j の入学教育機関の学生（定員）数である。 d_{ij} は地域 i, j 間の距離であり、一律で 10km のバイアスが加えられている。文献¹⁹⁾によると、この値は他の値と比べて決定変数が高く示されたものを選んだとされている。 α, β_1, β_2 は説明変数のパラメータであり、 C は定数項である。また i, j は各都道府県を一意に示す添え字であり、その都道府県の順序は総務省が定めた都道府県コードに従っている。進学先は「短大等進学」、「大学進学」、「大学院進学」の 3 種類を想定しており、パラメータは進学先ごとに異なった値を定めている。 S_i, S_j が対象とする教育機関は表 1 の通りである。また重回帰分析を行うための基礎データとして、学校基本調査他の統計データを用いている。

就職・転勤重力モデル 同様に、就職および転勤を理由とした人口移動のモデルが定義される。就職については、高校卒業就職、短大等卒業就職、大学卒業就職、大学院卒業就職の 4 種類が想定されており、転勤では、年齢によらないモデルが想定されている。重力モデルの解釈を就職および転勤による移動にも適用し、就職においては、 P_i は「卒業教育機関の学生数」、 P_j は「企業雇用者数」と置いている。転勤では、 P_i, P_j ともに各地域の「企業雇用者数」としている。ただし、企業の雇用者数に関するデータは存在しないため、「就業者数」で代用している。また両重力モデルには、修正項

として、都道府県ごとの所得 Y を加えている。所得 Y については、都道府県ごとの個人所得を実質化した、人口一人当たり実質個人所得を地域ごとに算出している。なお、移動数、学生数、就業者数は男女別の基礎データを用いている。

就職重力モデルと転勤重力モデルは、それぞれ式 (12)、(13) のように表される。

$$\ln M_{ij} = C + \beta_1 \ln S_i + \beta_2 \ln W_j + \beta_3 \ln\left(\frac{Y_j}{Y_i}\right) - \alpha \ln(d_{ij} + 0.1\text{km}) \quad (12)$$

$$\ln M_{ij} = C + \beta_1 \ln W_i + \beta_2 \ln W_j + \beta_3 \ln\left(\frac{Y_j}{Y_i}\right) - \alpha \ln(d_{ij} + 0.1\text{km}) \quad (13)$$

概ね進学重力モデルと同じであるが、 W_i, W_j はそれぞれ地域 i, j の就業者数であり、 Y_i, Y_j は地域 i, j の人口一人当たり実質個人所得、 S_i は卒業する教育機関の学生数を表している。距離のバイアスは、進学重力モデルと同様、決定変数が高くなるものを選んだとしている。

3.2.3 ポアソン重力モデルによるモデル化

本研究で構築する二地域将来人口推計モデルにおける、修正重力モデルとポアソン重力モデルの推計精度の比較を行った。福田らが修正重力モデルでモデル化した進学・就職・転勤による地域間移動について、ポアソン重力モデルによる推計を行い、推計値と実測値の決定定数を比較した。尚、移動者数の基礎データは、福田らの研究と同じものを用いている（詳細は文献¹⁹⁾を参照）。

比較の結果、ポアソン重力モデルを用いた推計では、修正重力モデルによるものと比べて、推計精度が大きく向上することが確認された。両モデルを用いて地域間移動者数を推計した場合の、自由度調整済み決定係数の値を Table 2 に示す。同表が示す通り、ポアソン重力モデルを用いた推計では、修正重力モデルに比べて自由度調整済み決定係数の値が平均的に 20~30%程度高くなっていることが確認できる。

3.3 Copy-Delete モデル

二地域将来人口推計モデルでは、計算資源の制約上、仮想社会における各地域の個体数を同数ないしそれに近い状態で構成し、推計を行う場合がある。例えば、秋田県の将来人口推計と人口政策評価を目的としてモデルを用いる場合、推計の対象地域である秋田県に対し、秋田県と人口の行き来がある外部地域として秋田県以外の日本を設定することが考えられる。この場合、対象地域と外部地域の現実社会での人口比はおおよそ 1:120 であるが、この比率で仮想社会を構成した場合、計算資源の制約上、対象地域の個体数を少なくする必要があり、推計精度が下がることが懸念される。福田らはこの問題に対し、仮想社会における対象地域と外部地域

Table 2: 進学を理由として移動する男性の移動者数推計精度の比較（自由度調整済み決定係数）

種別	短大等進学		大学進学		大学院進学		高校卒業就職	
性別	男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性	女性
修正重力モデル R^2 値	0.6589	0.6409	0.7559	0.7304	0.7464	0.7393	0.6518	0.6911
ポアソン重力モデル R^2 値	0.8679	0.8742	0.8961	0.9038	0.9870	0.9860	0.8856	0.8572

種別	短大等卒業就職		大学卒業就職		大学院卒業就職		転勤	
性別	男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性	女性
修正重力モデル R^2 値	0.7862	0.7717	0.8270	0.7932	0.8267	0.7939	0.6443	0.6172
ポアソン重力モデル R^2 値	0.8786	0.9591	0.9870	0.9915	0.9783	0.9948	0.8139	0.8250

の個体数を同数として将来人口推計を行っている。しかしながらこの場合、各地域の個体が代表する現実社会の人口が大きく異なるため、地域間移動における転入・転出者数の差が人口変動に与える影響が外部地域では拡大され、長期的には推計精度が悪化する原因となると考えられる。

本研究では、個体が地域間を移動する際にあらかじめ定められた処理を行うことによって、この問題の解決を試みている。はじめに、現実社会の人口と仮想社会の個体数の比率を表す概念である、「個体の重み」を導入する。

$$\text{個体の重み} = \frac{\text{現実社会の総人口}}{\text{仮想社会の総個体数}} \quad (14)$$

個体の重みは、仮想社会における個体 1 体が現実社会の何人の人口を代表するかを表すものである。例えば、総人口約 106 万人の秋田県を約 7 万体の個体でモデル化した場合、仮想社会における個体の重みはおよそ 15 である。一方で、人口約 1 億 2600 万の外部地域についても、秋田県と同様に約 7 万体の個体でモデル化すると、個体の重みは約 1800 となる。この場合、外部地域の個体の重みは対象地域のそれの約 120 倍となる。実際の人口との関係で考えると、外部地域の個体 1 体と対象地域の個体 120 体がほぼ同数の人口を表すことになる。したがって、個体の地域間移動においては、外部地域から 1 体の個体が転出した場合には対象地域へ 120 体の個体が転入し、逆に、対象地域から 120 体の個体が転出した場合に、外部地域へ 1 体の個体が転入するように移動者数を調整することが、現実社会における移動と整合の取れた移動モデルであるといえる。

この点を踏まえて、地域間移動モデルを以下のように構築する。まず、外部地域からの転出者数の計算は、福田らの研究と同様に、外部地域の転出者数を α_h 倍することで、転入者数とバランスをとる。 α_h は、個体の重みを用いて式 (15) で定義する。

$$\alpha_h = \frac{\text{外部地域の個体の重み}}{\text{対象地域の個体の重み}} \quad (15)$$

対象地域からの転入出者数、外部地域からの転入出者数が定まった上で、以下のような処理を行う。なお、以下では $\alpha_h > 1$ として考える。

対象地域からの転出者に対しては、転出者のうち $1/\alpha_h$ を外部地域へ転入させ、それ以外の個体はシミュレーション上から削除する。例えば秋田県の例では、 $\alpha_h \sim 120$ であるから、対象地域から 120 個体が転出した場

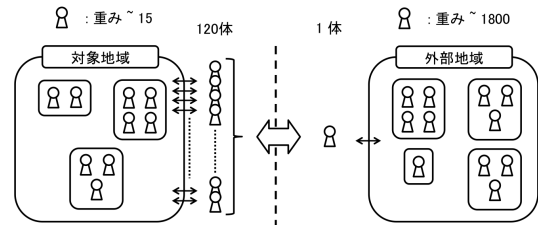


Fig. 7: 個体の重みに基づいた地域間移動者数の調整

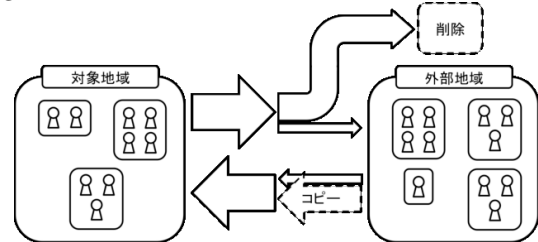


Fig. 8: Copy-Delete モデルの概念図

合、確率的には 1 個体のみが外部地域へ転入し、残り 119 個体は削除される。

外部地域からの転出者については、転出者のうち $1/\alpha_h$ の個体に対しては通常の転出・転入処理を行い、外部地域から転出させ、対象地域へ転入させる。一方でその他の個体に対しては、各個体のコピーを作成した上で、コピーだけを外部地域から転出させ、対象地域へ転入させる。オリジナルの個体については、外部地域にそのまま残す。したがって、外部地域から見ると、対象地域へ転入した個体の数の約 $1/\alpha_h$ しか転出していないことになる。例えば秋田県の例では、外部地域からの転出が 120 個体の場合、1 個体だけは外部地域から転出し、対象地域へ転入するが、その他の 119 個体はコピーを作成した上で、コピーだけを対象地域へ転入させ、オリジナルはそのまま外部地域に残す。

以上の処理により、仮想社会における対象地域と外部地域の転入出者数の比率が現実社会と等しくなる。従来モデルでは対象地域との間の人口移動が外部地域の人口動態へ過度に影響していたが、提案モデルではその影響は現実と同程度になっている。このような、他地域モデルにおける個体の重みの違いを考慮した地域間移動モデルを、「Copy-Delete モデル」と呼ぶ。Copy-Delete モデルの導入によって変化するのは外部地域へ転入・転出する個体の処理に関する部分だけであり、対象地域へ転入・転出する個体についてはその数や扱いは同じである。

4 将来人口推計と人口政策評価

本章では、構築したモデルを用いて行った将来人口推計と人口政策評価の結果を紹介し、考察を述べる。

4.1 秋田県の人口政策

人口減少対策としての人口政策には、出生数の増加を狙った政策と、人口流出の抑制を狙った政策の2種類がある³⁾。以下では便宜上、前者の政策を「自然減抑止政策」、後者を「社会減抑止政策」と呼ぶこととする。

非嫡出子の割合が高い地域では、自然減抑止政策として、婚姻数の増加、有配偶女性の出生率の上昇という2つの政策が考えられる。とくに日本では、全出生数に占める嫡出子の割合が2014年現在において約98%⁷⁾と非常に高いため、双方の施策を有効に組み合わせる実施することが求められる。

社会減抑止政策においては、地域によって人口流出の理由は異なるため、その地域の実状にあった政策を実施することが求められる。日本国内の状況を見ると、東京都などの大都市では、住宅事情を理由とする移動では転出者数が転入を上回っているのに対し、学校や職業的理由による移動では、転入超過となっている¹³⁾。その一方で、秋田県¹⁾や新潟県¹⁷⁾、広島県¹⁸⁾といった大都市以外の地域に属する地域では、就学や就職による若者の転出超過が、社会減の大きな理由となっている。

秋田県では、人口政策の長期的な政策目標として、「2060年に約62万人の人口を維持すること」を掲げている²⁾。秋田県では、自然動態と社会動態に関していくつかの仮定を設け、それらをベースに将来人口のシミュレーションを行っている。それらのシミュレーションの結果から、2060年において約62万人の人口が維持されるものを選び、それを長期的な政策目標として掲げている。この推計は、2050年頃に県内女性の合計特殊出生率が人口置換水準である2.07に回復すること、2040年頃までに転出超過が改善し、転入、転出の差分がゼロになることを条件としている。

秋田県の人口政策は、婚姻数増加と第3子以降の出生支援による出生数増加政策と、就労機会の増加と県内大学等への進学支援による県外流出抑止政策の2つに大別される。秋田県の人口政策の事例をベースに、将来人口予測のシミュレーション・シナリオを構成する。導入する人口政策は、出生数の増加と県外流出の抑制を狙ったものとし、とくに就学・就職時の県外転入人口を減少させる政策が実施された場合を想定して、将来人口の変化を調べる。

4.2 将来人口推計の条件

秋田県を対象に将来人口推計を行った。推計期間は2010年から2060年までの50年間として、初期世帯数は両地域とも25,000世帯とした。

秋田県で実際に取り組まれている人口政策をベースに、将来人口推計のシナリオを構成する。とくに、合計特殊出生率の回復、高校卒業後の県内高等教育機会の増加、雇用機会の増加を想定し、それぞれのシナリオを構成する。下に各シナリオを示す。いずれも基準年は2010年とし、変化が終了するまで線形に増加させる。()内の年は、変化が終了する年を表している。例えば出生率回復シナリオでは、2010年から2040年までの30年間で、合計特殊出生率を1.31(2010年時点²⁾)から2.07まで線形に増加させることを意味している。

- 出生率回復シナリオ: 合計特殊出生率2.07(2040年)

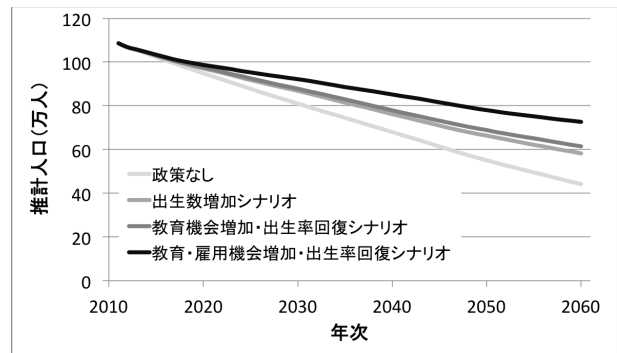


Fig. 9: 総人口の推移

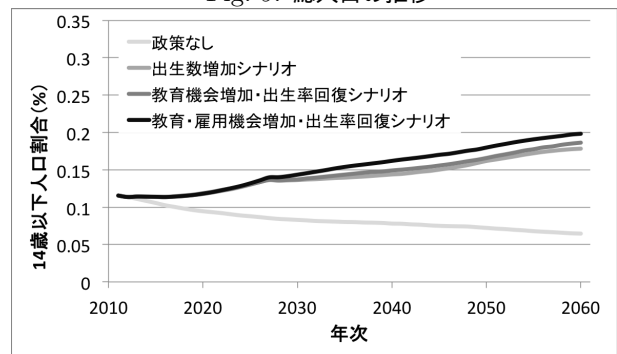


Fig. 10: 14歳以下人口割合の推移

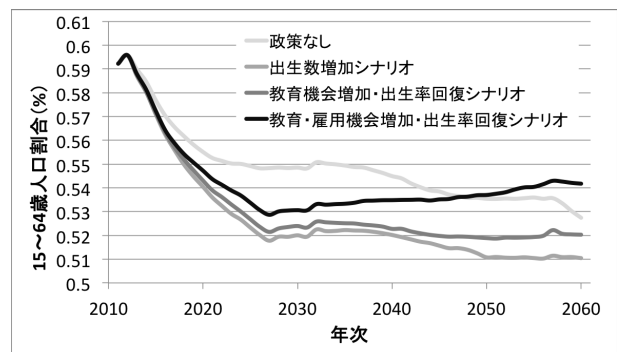


Fig. 11: 15~64歳人口割合の推移

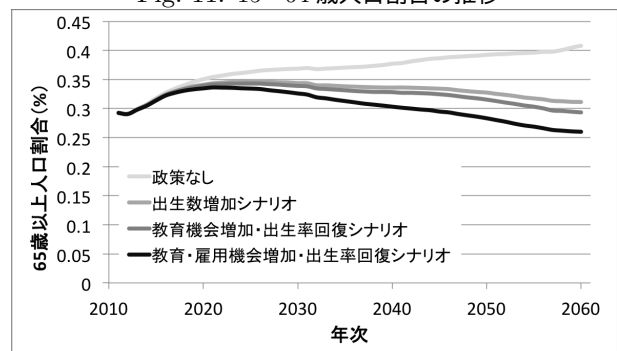


Fig. 12: 65歳以上人口割合の推移

- 教育機会増加シナリオ: 大学定員2.0倍、短大等定員・大学院定員1.5倍(2020年)
- 雇用機会増加シナリオ: 雇用者数2.0倍(2020年)

4.3 結果と考察

将来人口推計から、人口政策を導入することによって、人口減少に一定程度の歯止めがかかるという結果が得られた。はじめに出生率回復シナリオを見ると、2060年における秋田県の人口は約59万人であり、秋

田県が政策目標として掲げる「2060年に約62万人の人口」に近い人口規模となっている。また人口構造の高齢化についても、その進行が抑制されている。一方で、出生率回復に加えて教育機会増加が実施された場合には、総人口の減少や高齢化がさらに抑制されている。2060年における総人口は約61万人であり、秋田県の政策目標をほぼ達成するという結果となった。さらに、これらに加えて雇用機会が増加した場合には、総人口の減少はさらに抑制され、2020年代半ばを境に生産年齢人口割合が増加するという結果が得られた。

以上の結果から、秋田県が掲げる「2060年に約62万人の人口を維持する」という政策目標は、出生率の回復と高等教育機関の定員増加によって達成される可能性があることが示唆される。ここで、人口規模や人口構造に与える効果は出生率の回復によるところが大きく、したがって高等教育機関の定員増加よりも出生率の回復を促す政策を実施することが優先課題であると考えられる。また、雇用機会が増加することで、人口減少のさらなる抑制や、生産年齢人口割合の増加が確認されており、人口政策としての有効性が示唆される。ポアソン重力モデルを導入したことで、推計値と基準値とのフィッティングは大幅に向上している。そのため本推計結果に関しても、教育・雇用機会の増加による将来人口の変化について、定量的な議論が可能であるものと思われる。

5 おわりに

本研究では、政策検討段階における政策策定の支援を行うため、将来人口推計モデルを用いた人口政策評価に取り組んでいる。これまでの研究では、二地域将来人口推計モデルにおける地域間移動のモデル化が抱える課題に着目し、その課題を解決するモデルを構築している。本稿では、まず、二地域モデルにおいて仮想社会の個体が代表する現実社会の人口が地域ごとに異なる場合に、地域間移動の実現によって蓄積される誤差に対し、これを解消するために構築したCopy-Deleteモデルを紹介した。また、地域間移動者数の推計に用いるモデルの推計精度を比較し、個体ベースの二地域モデルにおけるポアソン重力モデルの優位性を確認した。

構築したモデルを用いて、秋田県を対象とした人口政策評価を行った。将来人口推計の結果、出生率の回復と雇用機会の増加が人口減少と高齢化の抑制に大きな効果を持つ一方、大学や短大等といった高校卒業後の教育機会の増加については、人口政策としての効果は比較的小さいという結果が得られた。

今後の課題としては、進学・就職・転勤以外の移動要因の明示的なモデル化や、個体・世帯属性の追加があげられる。現在の将来人口推計モデルでは、進学・就職・転勤を理由とした地域間移動については、ポアソン重力モデルを用いてモデル化を行っている一方、家族との同居や婚姻等を理由とした移動を明示的に取り扱うモデルが構築できていない。教育・雇用以外の要因による移動モデルを構築することで、介護や結婚による人口移動に関する政策の評価が可能になると期待される。加えて、個人・世帯属性については、健康状態や世帯収入といった新たな属性を追加することを検討している。老親の健康状態悪化による子の帰郷や、世帯収入の違いによる婚姻率や婚姻年齢、出生率の違い

などをモデルに反映させ、評価可能な人口政策の範囲を拡大していく予定である。

参考文献

- 1) 秋田県：秋田県人口移動理由実態調査報告書（2014）
- 2) 秋田県：秋田県人口ビジョン（2015）
- 3) 秋田県：あきた未来総合戦略（2015）
- 4) 石川義孝：空間的相互作用モデル-その系譜と体系，地人書房（1988）
- 5) 稲垣：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，日本統計協会（2007）
- 6) 小池：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（J. of Population Problems）Vol. 64, No. 3, 87/111（2008）
- 7) 厚生労働省：平成25年版厚生労働白書（2013）
- 8) 厚生労働省：人口動態統計（<http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/81-1.html>）（参照2016-1-10）
- 9) 厚生労働省：地域行動計画策定の手引き（2003）
- 10) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来人口推計（平成24年1月推計）（2012）
- 11) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口（平成25年3月推計）（2013）
- 12) 国立社会保障・人口問題研究所：第7回人口移動調査報告書（2011）
- 13) 東京都：特集「東京都における人口移動に影響を与えた要因の移り変わり」（2002）
- 14) 内閣府：平成27年版少子化社会対策白書（2015）
- 15) 内閣府：平成27年版高齢社会白書（2015）
- 16) 内閣府：まち・ひと・しごと創生長期ビジョン（2014）
- 17) 新潟県：新潟県人口移動調査結果報告（2013）
- 18) 広島県：広島県人口移動統計調査（2013）
- 19) 福田純也：社会動態を考慮したエージェントベースの人口推計モデル，京都大学大学院情報学専攻平成25年度修士論文（2014）
- 20) Schneider, M.: Gravity models and trip distribution theory, Papers and Proceedings of the Regional Science Association, Vol. 5, 51/56（1959）
- 21) Wilson, A. G.: A Statistical Theory of Spatial Distribution Models, Transportation Research, Vol. 1, 253/269（1967）