

エージェントベースの二地域人口推計モデルにおける地域間移動モデルの検討

野田旬太郎 森幹彦 上田浩 喜多一 (京都大学)

A Model of Inter-regional Migration for Agent-based Two Region Population Estimation Model

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

概要— 近年日本では、全国的に人口減少と少子高齢化が進んでおり、とくに地方では若年世代の地域外への流出がこれらの進行に拍車をかけている。エージェントベースド・モデルは、実際の社会の意思決定プロセスを反映したシミュレーション・モデルであり、政策シミュレーションへの応用が期待されている。本研究では、政策シミュレーションへの応用を目的として、エージェントベースド・シミュレーションを用いた将来人口推計モデルを構築する。とくに、他地域人口推計モデルにおける地域間移動のモデル化に着目し、福田らが構築したエージェントベースの二地域人口推計モデルをベースとして、より妥当かつ推計精度の高いモデルへの再構築を試みる。その第一歩として、地域間移動数の調整方法における新たなモデルを構築し、シミュレーション結果を従来モデルと比較した。その結果、各地域の人口動態の傾向は大きくは変わらないものの、推計結果に一定の変化が見られた。

キーワード: 将来人口推計, エージェントベースド・シミュレーション, 多地域モデル, 空間的相互作用

1 はじめに

日本の人口は2008年以降減少の一途をたどっており、未婚化や晩婚化によって少子高齢化も急速に進行している¹⁾²⁾。とくに地方では、都市部への若年世代の流出がこれらの進行に拍車をかけている。

一定期間内の人口変動を意味する人口動態は、出生および死亡に伴う「自然動態」と、転入・転出に伴う「社会動態」に大別される。コーホート要因法は、もともと標準的に用いられる人口推計手法であり、年齢・性別の人間集団のダイナミクスを記述するマクロな推計手法である。個人ベースの人口推計手法としては、マイクロシミュレーション⁶⁾(以下「MS」)とエージェントベースド・シミュレーション¹²⁾(以下「ABS」)が挙げられる。とくにABSは、実際の社会の意思決定プロセスを反映したシミュレーション・モデルの構築が可能であり、政策評価への応用が期待されている⁷⁾。

Haraらは、単一地域の人口推計モデルをエージェントベースで構築し、エージェントの属性決定問題を拘束条件付最適化として定式化した⁸⁾。福田らは、社会動態をモデル化した二地域人口推計モデルを提案し、社会動態への影響をねらった人口政策の評価を試みている⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。多地域モデルを用いた政策シミュレーションでは、政策の導入対象となる対象地域の人口に比べて、対象地域と人口の行き来がある外部地域の人口は圧倒的に多い。そのため実際の人口の比率を仮想社会で再現すると、計算資源の大部分が外部地域に割り当てられることになり、直接関心がある対象地域の人口動態を推計する上で大変非効率である。これに対して、外部地域のエージェント数を実際の人口より少なくした場合、仮想社会において各地域のエージェント1体が代表する現実社会の人口(以下、「エージェントの重み」と呼ぶ)に違いが生じる。この場合、現実社会の地域間人口移動の様態を仮想社会で実現するためには、エージェントの重みの違いを考慮した地域間移動モデルを構築することが求められる。福田らの研究では、エージェントの重みが大幅に異なるシミュレーションモデルを用いているにもかかわらず、以上の問題について

検討がなされていない。

そこで本研究では、多地域人口推計モデルにおいて、エージェントの重みの違いを考慮した地域間移動モデルを構築した。本稿では、新たに構築したモデルについて説明し、福田らの人口推計モデルとの将来人口推計結果の違いを示す。また本稿の最後で、構築したモデルと福田らの地域間移動モデルの課題について触れ、今後の展望を述べる。

2 エージェントベースの人口推計モデル

2.1 ベースモデルの概要

本章では、本研究の基盤となっている福田らの人口推計モデルを紹介する。福田らは、個人だけでなく、個人の集合として世帯を明示的に考慮したABSの将来人口推計モデルを構築している。モデルの概要をFig. 1に示す。福田らは日本全国を二つの地域に分け、各地域の人口推計を行うとともに、地域間の人口移動をモデル化している。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が順に発生する。また各エージェントは、社会的属性として「大学生」、「短大生」、「大学院生」、「就業者」、「その他」のいずれかをもつ。地域間の移動者数は各地域の教育・雇用機会の規模から算出され、政策の実行はこれらの機会数を増減させることで表現している。福田らは2010年時点で日本で最も人口減少率が高い秋田県を対象とし、将来人口と政策実施による人口動態の変化を推計している。また初期エージェントのデータセットの構成では、個票を用いず、公表されている統計値のみから属性値の推計を行っている⁸⁾。

2.2 地域間移動モデル

福田らは、進学、就職、転勤の三つを理由とした地域間移動を「転入・転出イベント」としてモデル化し、移動を実現している。また、結婚、および介護等を理由とした親世代のもとへの帰郷によって生じる地域間移動を、それぞれ「結婚イベント」、「世帯分離・統合イ

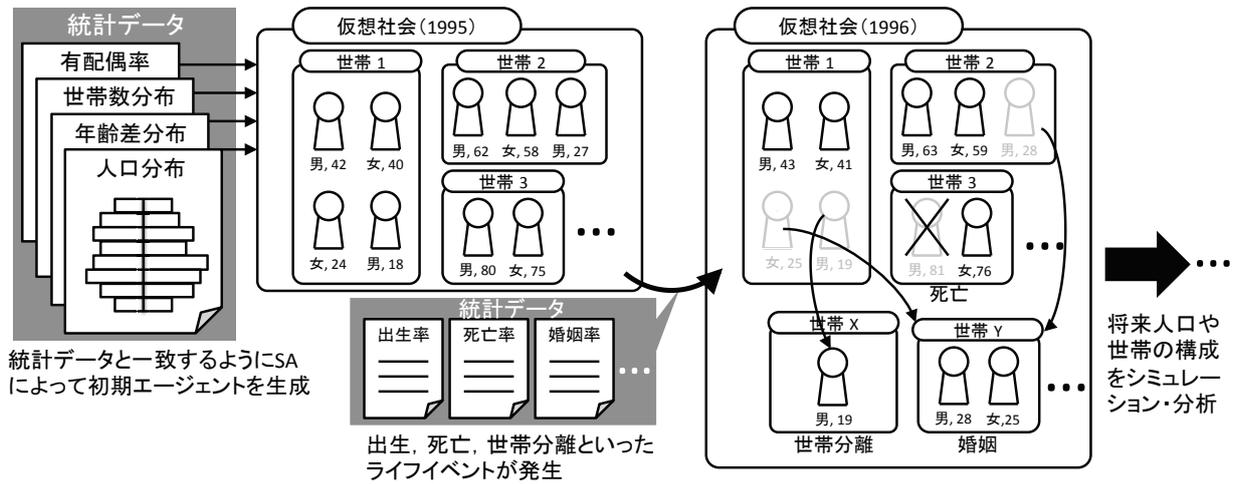


Fig. 1: シミュレーションモデル (引用: 文献¹¹⁾)

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

	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

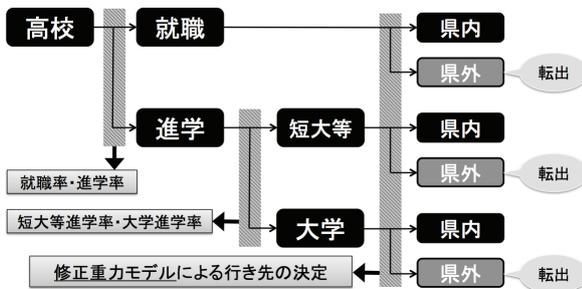


Fig. 2: 転入・転出イベントの分岐 (18歳) (引用: 文献¹¹⁾)

「イベント」の中でモデル化している。ただし、エージェントの自律的な選択がモデル化されているのは「転入・転出イベント」における進学・就職・転勤による地域間移動のみであり、この点において福田らのモデルはABSとMSの中間の性格をもっている。本節では、人口政策の評価が可能なモデルとして導入されている転入・転出イベントについて説明する。

2.2.1 転入・転出イベント

転入・転出イベントでは、後述する修正重力モデルを用いて、進学・就職・転勤を理由とした地域間人口移動を発生させている。転入・転出イベントも、他のイベントと同様に毎年実施されるが、エージェントごとに発生タイミングが異なる。(Table 1 参照)。Fig. 2は、18歳における転入・転出イベントの分岐を示している。いずれの進路に進むかは確率的に決定され、進路が決まった後は該当する修正重力モデルによって移動先が決定される。20~24歳でも同様である。転勤については、25~65歳の就業者全員に確率的に発生し、移動先は転勤重力モデルによって決定している。なお、自都道府県内への転勤はモデルに含まれていない。

2.2.2 重力モデルによるモデル化

福田らの研究では、地域間移動者数の算出に修正重力モデルを用いている。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、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¹³⁾。任意の2地点間の人口移動を説明する重力モデルは式(1)のように表される。

$$M_{ij} = G \frac{P_i^{-1} P_j^2}{d_{ij}} \quad (1)$$

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, γ のパラメータによって重み付けされている。

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以下に示す。

$$\ln M_{ij} = C + \alpha \ln P_i + \beta \ln P_j + \gamma \ln \left(\frac{Y_i}{Y_j} \right) + \ln d_{ij} \quad (2)$$

ここで Y_i, Y_j は各地域の所得を意味する。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。

福田らは、進学、就職先ごとに修正重力モデルを定義している。進学における修正重力モデルの人口規模 P_i, P_j は、それぞれ「地域 i においてエージェントが卒業する教育機関の学生数」、「地域 j においてエージェントが入学する教育機関の学生定員数」である (Table 2 参照)。一方就職においては、 P_i は「卒業教育機関の学生数」、 P_j は「企業雇用者数」、転勤では P_i, P_j ともに各地域の「企業雇用者数」とされている。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 が

Table 2: 進学先における進学重力モデルの説明変数

進学先	P_i	P_j
短大等	高校生徒数	短期大学学生定員数
大学	高校生徒数	大学学生定員数
大学院	大学生徒数	大学院学生定員数

加えられている。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おり、距離には正の一定バイアスを加えている。

2.3 地域間移動者数の調整

文献¹¹⁾では、構築したモデルの適用例として今後の人口減少が深刻であるとされる秋田県を対象とした政策シミュレーションを行い、人口政策の効果を推計している。この際、外部地域には秋田県と人口のやり取りがあるすべての地域が含まれるため、外部地域の人口規模は対象地域に比べて非常に大きくなる。文献¹¹⁾では外部地域として秋田県以外の日本を想定しているが、2012年時点で秋田県の人口に比べて外部地域の人口はおよそ120倍となっている。この比率をシミュレーション上で再現すると、直接的には関心が薄い外部地域の人口動態の計算のために計算資源の大部分が割り当てられることになり、極めて非効率である。加えて、対象地域のエージェント数が制限されることによる推計精度の悪化も懸念される。

このため文献¹¹⁾では、対象地域と外部地域の初期エージェント数をほぼ同数にしてシミュレーションを行っている。これにより先述の問題は回避できるが、その代わり対象地域と外部地域の人口比が現実社会と大きく異なる状態でシミュレーションが行われることになる。一方で、修正重力モデルのパラメータ推計は実際のデータを用いているため、シミュレーション上での地域間移動者数の計算では、外部地域からの転出者が対象地域からの転出者に比べて非常に少なく推計される。この点を解決するため、福田らは定数 H を導入し、外部地域からの転出者数を H 倍することで移動者数のバランスを調整している。 H は以下の式で計算される。

$$H = \frac{\text{日本全国の総世帯数（現実）}}{\text{外部地域の総世帯数（仮想）}} \quad (3)$$

$$\left/ \begin{array}{l} \text{秋田県の総世帯数（現実）} \\ \text{秋田県の総世帯数（仮想）} \end{array} \right.$$

H は、後に定式化する「エージェントの重み」の地域間比率と同等の意味を持つ。この調整により、各地域の転入・転出者数のバランスは現実と同程度に回復するが、外部地域からはシミュレーション上の人口規模で想定されている以上のエージェントが転出するため、外部地域の人口や人口構成、世帯構成などは、時間の経過とともに崩れていくことが懸念される。外部地域の人口および人口構成は、転入・転出イベントを通して対象地域の人口動態へ影響するため、結果的に対象地域の人口動態の推計精度を低下させる要因となっている恐れがある。

3 地域間移動数数の調整

福田らの研究における地域間移動者数の調整方法では、シミュレーションの進行に伴い外部地域の人口、人

口構成が崩れることが懸念される。そこで本研究では、各地域の転入・転出者数のバランスを保ちつつ、外部地域の推計精度の低下を防ぐモデルとして、Copy-Deleteモデルを提案する。

3.1 Copy-Delete モデル

福田らの地域間移動モデルの問題点は、外部地域からの転出者数がシミュレーション上の人口規模で想定されるよりも多いことであるが、より本質的には、対象地域との間の地域間人口移動が外部地域の人口動態へ与える影響が、現実社会と比べて極めて大きくなっていることである。つまり、現実社会における秋田県からの転入出者数は、2013年時点で年間1~2万人程度であり、これは秋田県にとっては人口の約1~2%を占めるが、外部地域にとっては人口の約0.01~0.02%に過ぎない。一方で、シミュレーション上で対象地域と外部地域の初期エージェント数をほぼ同数にした場合、福田らのモデルでは対象地域との間の人口移動が過剰に外部地域へ影響することになり、実際には人口の約0.01~0.02%程度のインパクトしかないはずの秋田県との人口のやりとりが、仮想社会においてはその約100倍の影響を外部地域へ与えることになる。とくに秋田県の転入・転出においては、秋田県からの転出者が転入者を30%程度上回っているため、福田らのモデルでは転入・転出イベントによって外部地域の人口が実際よりも増加していることが考えられる。

この問題に対し、新たに地域間移動の調整法を提案する。まず、各地域における現実社会の人口と仮想社会のエージェント数の比率に着目し、この比率を「エージェントの重み」して式(4)で定義する。

$$\text{エージェントの重み} = \frac{\text{現実社会の人口}}{\text{仮想社会のエージェント数}} \quad (4)$$

エージェントの重みは、仮想社会におけるエージェント1体が現実社会の何人の人間を代表しているかを表す値である。例えば文献¹¹⁾では、人口約106万人の秋田県を約7万体のエージェントでモデル化しているため、仮想社会における秋田県のエージェントの重みはおよそ15である。一方で外部地域については、約1億2645万人の人口を約7万体のエージェントでモデル化しているため、エージェントの重みは約1800である。このように、外部地域のエージェントの重みは対象地域の約120倍となっており、これはすなわち外部地域のエージェント1体と対象地域のエージェント120体がほぼ同数の人間を代表していることを意味している。したがって、エージェントの地域間移動においては、外部地域から1体のエージェントが転出した場合には対象地域へ120体のエージェントが転入し、逆に、対象地域から120体のエージェントが転出した場合には、外部地域へ1体のエージェントが転入するように移動者数を調整することが、現実社会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 H 倍す

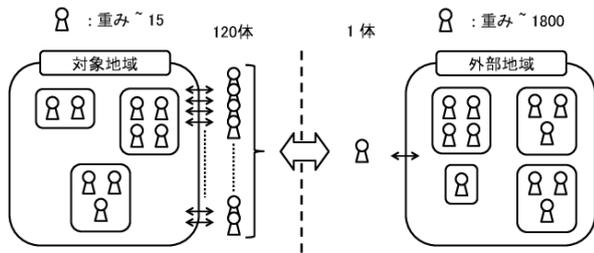


Fig. 3: エージェントの重みに基づいた地域間移動者数の調整

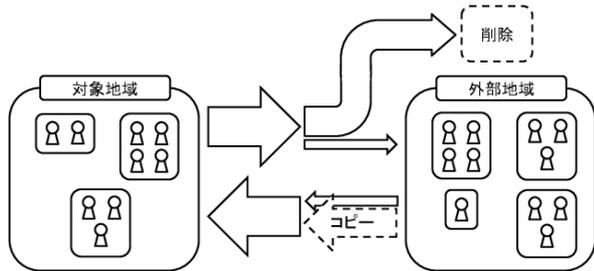


Fig. 4: 地域間移動におけるエージェントの処理

ることで、転入者数とのバランスを調整する。ただし、 H はエージェントの重みを用いて式 (5) で再定義する。

$$H = \frac{\text{外部地域のエージェントの重み}}{\text{対象地域のエージェントの重み}} \quad (5)$$

これは文献¹¹⁾では世帯数で定義していた H を、エージェント数で定義し直したものである。対象地域、外部地域からの転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 $H > 1$ として考える。

対象地域からの転出者 対象地域からの転出者に対しては、転出者のうち $1/H$ を外部地域へ転入させ、それ以外のエージェント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、 $H \sim 120$ であるから、対象地域から 120 エージェントが転出した場合、確率的には 1 エージェントのみが外部地域へ転入し、残り 119 エージェントはシミュレーション上から削除される。

外部地域からの転出者 外部地域からの転出者については、転出者のうち $1/H$ のエージェントに対しては通常通り外部地域から転出させ、対象地域へ転入させる。一方でそれ以外のエージェントに対しては、転出する各エージェントのコピーを作成し、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。この際、オリジナルのエージェントは外部地域にそのまま残す。したがって、外部地域から見た転出エージェントの数は、対象地域へ転入したエージェント数のおよそ $1/H$ となる。秋田県の例では、外部地域から 120 エージェントが転出した場合、1 エージェントだけはそのまま対象地域へ転入するが、その他の 119 エージェントについては、各エージェントのコピーが対象地域へ転入し、オリジナルはそのまま外部地域に残る。

以上の処理により、シミュレーション上の対象地域と外部地域の転入・転出者数の比率が現実社会と等しくなる。この Copy-Delete モデルでは、従来モデルで問題であった地域間移動が外部地域の人口動態へ与える過度な影響が現実と同程度にまで緩和される。

4 政策シミュレーションの実施

前節で構築した地域間移動モデルについて、人口政策導入時の将来人口推計を行う。ここでの目的は、推計結果を例示することと、従来モデルと比べて推計結果がどの程度変化したかを示すことである。そのため人口推計の条件は文献¹¹⁾と同じとする。対象地域である秋田県と外部地域の初期世帯数はともに 25,000 とし、推計期間は 2010~2060 年までの 50 年間とする。またシミュレーションの結果は、3 試行の結果の平均値をとったものを示す。

4.1 人口政策のシナリオ

本稿では、「秋田県内の就学・就労機会の増加」による人口政策抑制政策を人口推計に導入する。具体的な政策は次の通りである。県内短期大学への県内および県外の高校生の進学をねらった「短期大学学生定員数の増加」、大学、大学院についても同様の効果をねらった「大学学生定員数の増加」、「大学院学生定員数の増加」、県内企業への県内外の学生の就職をねらった「企業雇用者数の増加」、以上 4 つである。政策の導入プロセスは、推計開始年の 2010 年から 10 年間かけて執り行われるものとし、2010 年以降から線形に増加させ、2020 年に完遂するものとする。また学生定員・雇用者数の増加度は、2010 年と比較していずれも 2.0 倍とする。

4.2 シミュレーション結果

就学・就労機会の増加を目的とした人口政策導入時の将来人口の推計結果を、Fig. 5~Fig. 8 に示す。各グラフには、比較対象として施策を導入しない場合の推計結果を示してある。Fig. 5 で示す通り、施策を導入した場合でも対象地域の人口は依然減少傾向にあるが、その速度は比較的緩やかである。また人口構成を見ると、14 歳以下、15~64 歳割合はともに増加しており、導入した人口政策は高齢化の進行に対しても一定程度の効果があることがわかる。

モデルの変更による推計結果の変化を Fig. 9~Fig. 16 に示す。外部地域の総人口および年齢区分別人口の推移について、Fig. 9 に総人口を、Fig. 10~Fig. 12 にそれぞれ 14 歳以下、15~64 歳、65 歳以上の人口を示している。総人口の推移より、提案モデルでは従来モデルに比べて、外部地域の人口が減少していることがわかる。また年齢区分別人口の推移をみると、14 歳以下および 15~64 歳人口は比較的減少しているが、65 歳以上ではほとんど違いは見られない。

対象地域である秋田県の総人口の推移を Fig. 13 に、年齢区分別人口の推移を Fig. 14~Fig. 16 に示す。対象地域においても、推計結果に大きな違いは見受けられないが、各年齢区分でわずかに変化している。総人口のグラフより、両モデルともに対象地域の人口は一貫して減少傾向にあるが、提案モデルでは福田らのモデルに比べて減少の程度が緩やかである。年齢区分別人口の推移を見ると、いずれの区分でも提案モデルの人口が福田らのモデルの推計結果を概ね上回っているが、その程度は年齢区分が若いものほど顕著である。

4.3 シミュレーション結果の考察

シミュレーションの結果を以下のように考察する。まず外部地域の人口動態について、15~64 歳人口が減少したことは、転入・転出イベントに伴う地域間人口移

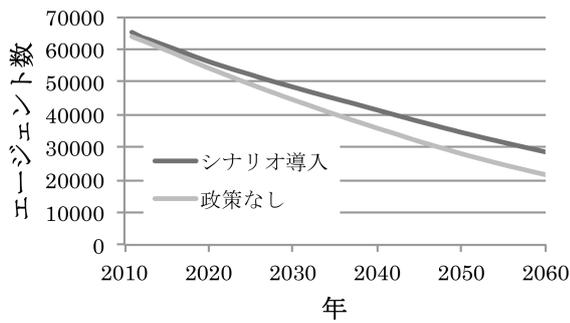


Fig. 5: 総人口の推移 (対象地域)

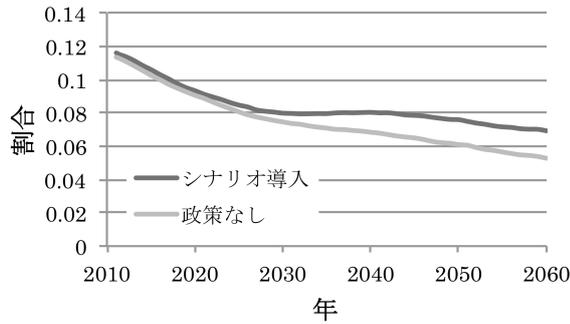


Fig. 6: 14歳以下割合の推移 (対象地域)

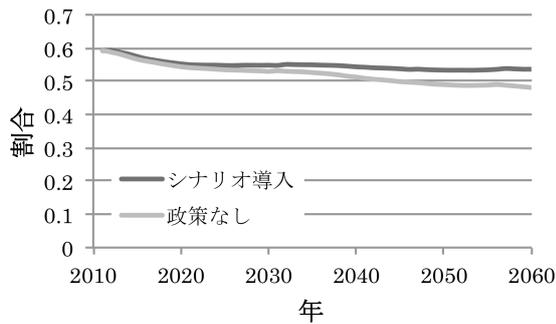


Fig. 7: 15~64歳割合の推移 (対象地域)

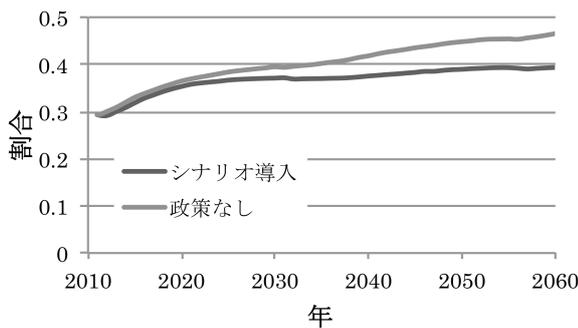


Fig. 8: 65歳以上割合の推移 (対象地域)

動が主に18~65歳で起きること、提案モデルにおいては対象地域との間の地域間人口移動が外部地域の人口動態へ与える影響が従来モデルに比べて小さく、かつこの地域間移動は外部地域にとって人口を増加させる方向に作用することから、この年齢区分の人口が減少したと考えられる。また14歳以下については、前述の理由により外部地域における15~64歳の人口が従来モデルに比べて減少したため、生産年齢人口の減少に伴う出生数の減少により、14歳以下の人口が減少したと考えられる。最後に65歳以上について、転勤イベ

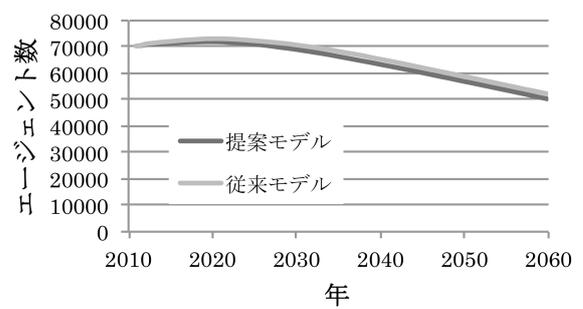


Fig. 9: 総人口の推移 (外部地域)

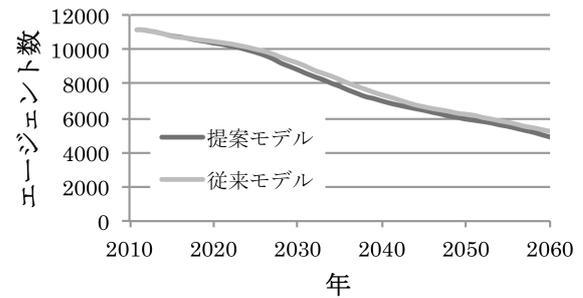


Fig. 10: 14歳以下割合の推移 (外部地域)

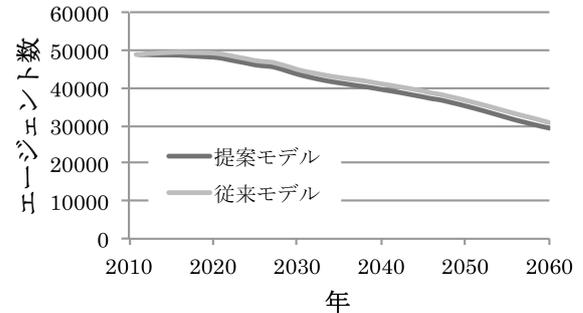


Fig. 11: 15~64歳割合の推移 (外部地域)

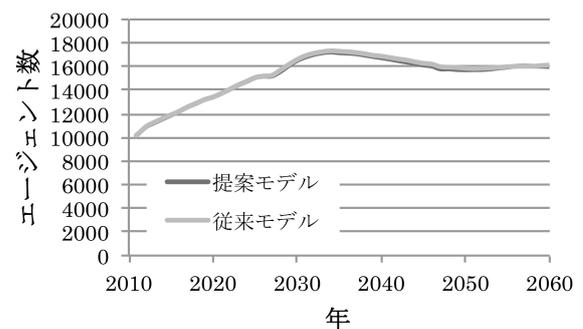


Fig. 12: 65歳以上割合の推移 (外部地域)

トに伴う外部地域への転入者数の減少により、直感的には65歳以上人口も減少するものと考えられるが、推計結果を見ると福田らのモデルとほとんど変わりが無い。これは転入・転出イベントからだけでは説明が難しく、他の要因が作用しているものと考えられる。一方の対象地域の人口動態についても、提案モデルにおいて推計人口が相対的に増加したことは転入・転出モデルからだけでは説明が難しく、おそらく結婚や世帯分離・統合イベントによる地域間移動が影響しているものと思われる。

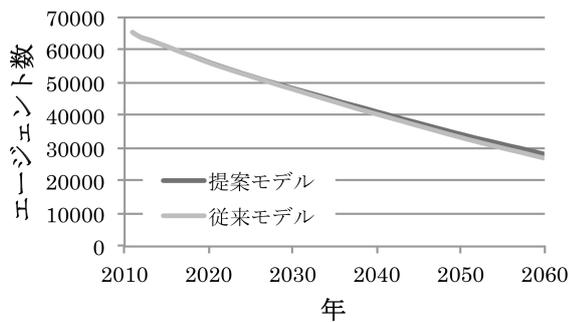


Fig. 13: 総人口の推移 (対象地域)

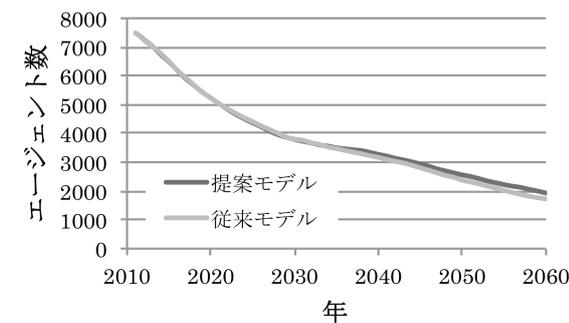


Fig. 14: 14歳以下割合の推移 (対象地域)

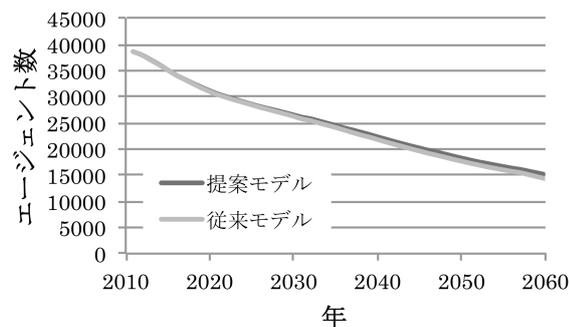


Fig. 15: 15～64歳割合の推移 (対象地域)

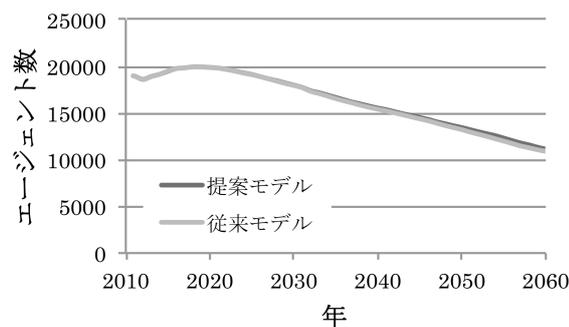


Fig. 16: 65歳以上割合の推移 (対象地域)

5 まとめと今後の検討事項

個人ベースのシミュレーション手法である ABS は、人口政策評価の観点から将来人口推計への応用が期待されている。本稿では、エージェントベースの多地域人口推計モデルにおける社会動態のモデル化に関して、各地域のエージェントの重みが異なる場合の転入・転出者数調整モデルを提案した。従来モデルと将来人口推計結果を比較したところ、各地域の人口動態の傾向は大きくは変わらないものの、推計結果に一定の変化が見られた。

本稿で提案したモデルは、地域間人口移動の実現においてエージェントの重みの違いを適切に処理することが可能であるが、処理の際に一部のエージェントをシミュレーション上から削除するため、世帯間の親子関係の情報が適切に保存されないという問題がある。日本国内の都道府県間人口移動では、都市部から地方への人口移動理由の上位に「親との同居」が含まれており、親子関係に基づく移動のモデル化が求められる⁴⁾。合わせて、婚姻や住宅事情を理由とした移動についても国内人口移動において一定の割合を占めており、また実際にこれらを対象とした人口政策が実施されていることから、政策シミュレーションにおいて導入を検討すべき事案となっている⁵⁾。加えて重力モデルによる移動先地域の決定については、実際の移動者数が多い都市部への移動が過大推計されるなど、一部にデータとの整合がよくない点が見受けられる¹¹⁾。また出産や住宅支援としての給付金制度をモデル化する際、どのような定量的な政策パラメータとして扱うのかも、懸案事項の一つである。

今後の方針としては、まずは婚姻、親との同居を理由とした地域間移動を、政策評価が可能なモデルとして人口推計モデルへ導入する。次いで、重力モデルの見直しを行い、パラメータの設定方法や代替モデルへの変更も含めて使用方法を検討する。最終的には、人口政策シミュレーションのツールとして、政策検討への実用化を目指す。

参考文献

- 1) 総務省統計局：平成 22 年国勢調査 (2010)
- 2) 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)(2012)
- 3) 総務省統計局：住民基本台帳人口移動報告
- 4) 秋田県調査統計課：平成 22 年秋田県人口移動理由実態調査報告書 (2010)
- 5) 秋田県総合政策課：重点施策推進方針 (2014)
- 6) 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)
- 7) 山本, 小山, 出口: Soars を用いた村落の人口減少についてのデモグラフィックシミュレーション, 計測自動制御学会社会システム工学部会研究会資料 (2005)
- 8) S. Hara, H. Kita, K. Ikeda and M. Susukita: Configuring Agent's Attributes with Simulated Annealing, Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems (T. Murata, T. Terano and S. Takahashi (eds.)), Agent-Based Social Systems 10, 45/59 (2013)
- 9) 福田, 喜多: エージェントベースの人口推計モデルにおける属性決定手法の評価, システム制御情報学会論文誌, 27-7, 279/289 (2014)
- 10) 福田, 喜多: エージェントベースの人口推計における社会動態のモデル化, 計測自動制御学会第 5 回社会システム部会研究会 (2014)
- 11) 福田: 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研究所社会情報学専攻平成 25 年度修士論文 (2014)
- 12) Billari, F.C., Prskawetz, A., Furnkranz J.: Agent-Based Computational Demography, Springer, Berlin (2013)
- 13) Schneider, M.: Gravity models and trip distribution theory, Papers and Proceedings of the Regional Science Association, 5, 51/56 (1959)